



Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

Caracterización espacial de los remanentes del Bosque Caducifolio del Sur

Patrocinante: Sr. Horacio Samaniego Salinas

Trabajo de Titulación presentado como
parte de los requisitos para optar al Título de
Ingeniero en Conservación de Recursos Naturales

CRISTÓBAL EDUARDO GARCÍA VERA
VALDIVIA
2011

Calificación del Comité de Titulación

	Nota
Patrocinante: Sr. Horacio Samaniego Salinas	6,8
Informante: Sr. Duncan Christie Browne	7,0
Informante: Sra. Cecilia Smith Ramírez	6,8

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el Reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.



Sr. Horacio Samaniego Salinas

AGRADECIMIENTOS

Antes que todo **AGRADEZCO A MI FAMILIA**, por todo el esfuerzo que han hecho para entregarme valores y un nivel de educación que me permite enfrentar la vida de la mejor forma. Gracias Papá, Mamá y Andy, por quererme y confiar siempre en mí.

Este escrito fue posible gracias al esfuerzo de un gran grupo de docentes, profesionales y estudiantes. Su gran nivel de compromiso e incansable necesidad por dar soluciones hacia problemáticas del mundo real, son la única causa que explica la culminación de este trabajo.

Muchas gracias Dra. Cecilia Smith Ramírez. Su inquietud por entregar respuestas sobre la condición actual de esta formación vegetal, sin ninguna duda es la única causa de que este trabajo se haya realizado. Agradezco además su coordinación con el proyecto GEF-SIRAP y con el Laboratorio de Análisis Cuantitativo de Recursos Naturales, ya que sin ese apoyo hubiera sido imposible el presente trabajo.

Muchas gracias Dr. Horacio Samaniego Salinas. Sin su apoyo para que aprenda metodologías de clasificación de imágenes satelitales y gran paciencia, hubiera sido imposible tener las herramientas necesarias para realizar este trabajo. Además, sin su pensamiento crítico sobre metodologías y gran dedicación hacia la elaboración de este escrito, no hubiera podido terminar mi trabajo de titulación.

Muchas gracias Ignacio Díaz Hormazábal. Amigo, sin tu esfuerzo incondicional, pensamiento crítico hacia las distintas metodologías, gran conocimiento para la identificación de la vegetación natural de Chile, e incontables días clasificando imágenes, hubiera sido imposible este trabajo.

Muchas gracias al equipo del Laboratorio de Análisis Cuantitativo de Recursos Naturales, Universidad de la Frontera. Las imágenes ASTER del Dr. Adison Altamirano fueron el principal insumo de este trabajo. Gracias Alejandro Miranda, Cristian Jiménez y Françoise Pincheira, su conocimiento metodológico y apoyo en la clasificación fue imprescindible.

Muchas gracias compañeros Ricardo Moreno, Patricio Bórquez, Jorge Reyes y Rodrigo Ríos. Sin su apoyo no se hubiera logrado una constatación en terreno de la condición actual, ni se tendrían muestras para hacer un herbario sobre el Bosque Caducifolio del Sur.

Índice de materias

Página

i	Calificación del Comité de Titulación	i
ii	Agradecimientos	ii
iii	Resumen	iii
1	INTRODUCCIÓN	1
2	ESTADO DEL ARTE	2
2.1	Distribución pasada y el efecto humano sobre el Bosque Caducifolio del Sur	2
2.1.1	Distribución de comunidades vegetales	2
2.1.2	Composición de la vegetación	3
2.1.3	Efecto antrópico	4
2.1.4	Condición actual	4
2.2	Métodos cartográficos y caracterización del paisaje	5
2.2.1	Cartografía a gran escala	5
2.2.2	Caracterización del paisaje	6
3	MÉTODOS	7
3.1	Área de estudio	7
3.2	Materiales	8
3.2.1	Base cartográfica y SIG	8
3.2.2	Sensores remotos por imágenes satelitales	8
3.2.3	Programas computacionales utilizados	9
3.3	Generación cartográfica del Bosque Caducifolio del Sur	9
3.3.1	Pre-clasificación	10
3.3.2	Clasificación	10
3.3.3	Post-clasificación	11
3.3.4	Evaluación de la exactitud cartográfica	12
3.3.5	Identificación del Bosque Caducifolio del Sur remanente	12
3.4	Caracterización espacial del Bosque Caducifolio del Sur	12
3.4.1	Índices de paisaje	13
3.4.2	Superficie protegida del Bosque Caducifolio del Sur	14
4	RESULTADOS	15
4.1	Evaluación de exactitud cartográfica	15
4.2	Caracterización espacial	15
4.2.1	Caracterización general del paisaje	15
4.2.2	Caracterización espacial del remanente	16
4.2.3	Nivel de protección del remanente	19
5	DISCUSIÓN	21
5.1	Generación cartográfica	21
5.2	Caracterización espacial del remanente	22
6	CONCLUSIONES	24
7	REFERENCIAS	24
Anexos		
1	Ubicación geográfica y fecha de adquisición de imágenes ASTER	
2	Matriz de confusión para evaluar la exactitud cartográfica	

- 3 Cartografía del Bosque Caducifolio del Sur por tipo de cobertura de tierras
- 4 Distribución altitudinal de las coberturas de tierra en el paisaje del Bosque Caducifolio del Sur
- 5 Áreas protegidas desglosadas por tipo de cobertura de tierras
- 6 Superficie total y protegida del Bosque Caducifolio del Sur remanente por comuna administrativa

RESUMEN

El Bosque Caducifolio del Sur es una de las formaciones vegetales que ha sufrido mayor nivel de deforestación en Chile, y a la vez una de las menos representadas por el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado. Sin embargo, no existe a la fecha una evaluación acuciosa de la superficie y distribución espacial de sus remanentes. El objetivo de este trabajo fue caracterizar espacialmente esta formación vegetal. Se utilizaron sensores remotos para generar una cartografía actualizada al año 2008 del Bosque Caducifolio del Sur. Posteriormente se cuantificó la estructura espacial por índices de paisaje y el nivel de protección del actual remanente. Los resultados obtenidos muestran que sólo queda 13,3% de este bosque, respecto a su área de distribución potencial. Este remanente fragmentado, está compuesto por 21.700 parches, los que en su mayoría no superan las 200 ha en superficie. El actual conjunto de áreas protegidas presentes en este paisaje, compuesto por: el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado, Áreas Silvestres Protegidas Privadas y terrenos de Bienes Nacionales, cubren 0,8% del área de distribución original de este bosque, las cuales están representadas en su mayoría por praderas. Este conjunto de áreas protegidas logra resguardar 3.380 ha de Bosque Caducifolio del Sur, lo cual representa sólo 1,55% del remanente actual.

Palabras clave: roble-laurel-lingue, sensores remotos, métrica de paisaje, monitoreo de bosque, ecología de paisaje

1. INTRODUCCIÓN

Todos los ecosistemas y paisajes naturales están siendo alterados en alguna medida por las actividades humanas (Vitousek *et al.* 1997). Una de las consecuencias directas de las actividades humanas sobre los ecosistemas boscosos, son la deforestación y fragmentación, siendo estas las principales causas de la extinción de la biodiversidad (Zipperer 1993).

A mediados del siglo pasado, con la llegada de colonos a las tierras bajas del valle central y litoral valdiviano, comenzó una de las deforestaciones más grandes en Chile (Otero 2006). La pérdida del paisaje natural, representado por la formación vegetacional del Bosque Caducifolio del Sur, originalmente distribuida casi interrumpidamente entre la Provincia de Cautín y Osorno, fue uno de los cambios más dramáticos en la historia reciente del sur de Chile (Donoso 1983). Este paisaje original se encuentra hoy dominado por praderas, sobre las que aún se mantienen algunos individuos añosos de Roble y Laurel, otorgándole un aspecto tipo “parque” (Ojeda 1987, San Martín *et al.* 1991).

El Bosque Caducifolio del Sur, es una de las formaciones vegetales menos representadas en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE) (Tacón *et al.* 2007), y se estima como una de las que presentaría menor superficie remanente (Lueber y Pliscoff 2006).

Los esfuerzos por comprender la actual condición de esta formación, se han centrado en la descripción de la composición vegetacional, el grado de alteración por especies invasoras y ciertos intentos por describir su dinámica regenerativa (Veblen *et al.* 1979, Ojeda 1987, San Martín *et al.* 1991). Sin embargo, se desconoce la superficie total y ubicación del remanente de la formación original. Conocer la actual superficie y distribución espacial del Bosque Caducifolio del Sur, es la base para la comprensión del patrimonio natural remanente. Además, facilitaría el desarrollo de planes y estrategias de conservación, tanto a nivel de parche como a nivel del paisaje, en una de las formaciones boscosas más vulnerables del centro-sur de Chile.

En este trabajo se busca identificar la superficie y distribución de los actuales remanentes de la formación del Bosque Caducifolio del Sur. Parte importante de este esfuerzo ha sido llevado a cabo en el Catastro de Uso de Suelos y Vegetación (CONAF *et al.* 1999, 2008a, 2008b, 2009), donde se ha hecho un acucioso muestreo a macroescala, para determinar el patrimonio forestal del país. Sin embargo, la escala cartográfica de esa aproximación impide identificar remanentes menores a 6 ha, limitando su uso para el diseño efectivo de planes de conservación y restauración. El actual desarrollo tecnológico de generación cartográfica, por medio de imágenes satelitales de mediana resolución, permitiría estimar la superficie con un nivel de resolución cercano a 1 ha (Chuvienco 2002), o menos si los recursos lo permiten.

El objetivo principal de este estudio, fue caracterizar espacialmente el paisaje del Bosque Caducifolio del Sur, mediante:

- a) Análisis de sensores remotos para generar una cartografía actualizada del área de distribución potencial del Bosque Caducifolio del Sur.
- b) Modelación espacial para cuantificar la estructura y nivel de protección del Bosque Caducifolio del Sur.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Distribución pasada y el efecto humano sobre el Bosque Caducifolio del Sur

2.1.1 Distribución de las comunidades vegetales

La distribución geográfica de las comunidades vegetales, es consecuencia de complejas relaciones entre el ambiente, la capacidad adaptativa de las especies y su historia de vida (Quintanilla 1983, Gajardo 1994). El actual nivel de comprensión de la distribución espacial de estas comunidades, es consecuencia del desarrollo en el conocimiento de los efectos ambientales sobre la fisionomía de la vegetación (Gajardo 1994), entre otros factores. Los primeros acercamientos provienen de clasificaciones climáticas globales como las de Wladimir Köppen, propuestas bioclimáticas para el país como las de Di Castri y Hajek (1976) y Quintanilla (1983), y trabajos fitogeográficos como los de Karl Reiche, Josef Schmithüsen y Erich Oberdorfer (Moreira-Muñoz 2007), entre otros.

La Pluviselva Valdiviana se ubica entre los 38 y 46° lat. Sur, que por su característico clima templado lluvioso con influencia marina, es una región vegetal con uno de los bosques más ricos en especies de Chile (Hueck 1978, Veblen y Schlegel 1982, Quintanilla 1983). Dentro de esta zona, existen gradientes climáticos que se generan producto de su amplia extensión latitudinal y accidentada orografía con cordones montañosos costeros, andinos y un valle central. Las menores precipitaciones ocurren en el valle central, desde el límite sur de la provincia de Malleco hasta la zona entre el río Bueno y Osorno, por el efecto sombra de lluvia que generan las cordilleras de Nahuelbuta por el norte y Pelada por el sur (Di Catri y Hajek 1976). En el valle central, la comunidad vegetal predominante la compone un bosque dominado por Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.), Laurel (*Laurelia sempervirens* Looser) y Lingue (*Persea lingue* Ness) (Asociación vegetal *Nothofago-Perseetum linguae* (Tomaselli 1981)), la cual se entremezcla en el extremo norte y sur de su distribución con

bosques de boldo (*Peumus boldus* (Molina) Johnston) (Asociación vegetal *Nothofago-Perseetum boldetosum* (Ober.)) (Veblen y Schlegel 1982, Quintanilla 1983, Ojeda 1987, Ramirez *et al.* 1990, San Martín *et al.* 1991). Dentro del valle central existe además, la presencia de al menos dos comunidades vegetales llamadas “Ñadis” y “Hualves”. Estas se ubican en terrenos planos y con drenaje limitado, las que se han considerado como comunidades azonales, ya que no se relacionan a las condiciones características del clima regional (Veblen y Schlegel 1982). Ferriere (1982) y Ramirez *et al.* (1983), definen a la comunidad de hualves (Asociación vegetal *Temo-Myrceugenietum exsuccae* (Ober.)), como bosques de mirtáceas en terrenos anegados pantanosos.

En base a la información existente a la fecha, Gajardo (1994) elabora una clasificación de la distribución potencial de cada formación vegetacional, dentro de la cual denomina a los bosques de Roble, Laurel y Lingue como la formación: “*Bosque Caducifolio del Sur*” (BCS). Luego, Luebert y Pliscoff (2006), en base al uso de áreas climáticas globales en un Sistema de Información Geográfico (SIG), modifican la propuesta de Gajardo (1994) y la clasifican como el piso vegetacional de: “*Bosque caducifolio templado de Nothofagus obliqua y Laurelia sempervirens*”. De manera complementaria y dentro de esta formación o piso vegetacional, Larraín (2011) genera un mapa de la distribución actual de hualves para la Región de Los Ríos.

2.1.2 Composición de la vegetación

Esta formación vegetacional se distribuye en los terrenos bajos del valle central hasta los 600 m s.n.m., dependiendo de la latitud, exposición y condiciones edáficas (Donoso 1981). En general es descrita como una asociación boscosa mixta, parcialmente caducifolia, dominada por el Roble (único elemento caducifolio) y otras especies arbóreas de tipo laurifolio, como son: el Laurel, Lingue, Olivillo (*Aextoxicon punctatum* R. et Pav.) y Mañío de hojas largas (*Podocarpus saligna* D. Don), entre otras (Gajardo 1994).

Existen dos hipótesis que intentan dar respuesta a la estructura particular de este bosque, dominado por Roble. 1.- Veblen *et al.* (1979) proponen que la razón más probable de que esta gran extensión de superficie, tenga tal composición y estructura vegetal, es el efecto de una dinámica de sucesión marcada por disturbios naturales relativamente frecuentes, tales como: tormentas de viento, incendios por relámpagos y depositación de cenizas volcánicas. 2.- Donoso (1983), sugiere que la estructura de este paisaje es principalmente causada por la histórica perturbación antrópica que han sufrido sus bosques, en los cuales si se interrumpiesen las perturbaciones, estos comenzarían a presentar la estructura de los bosques laurifolios presentes en ambas cordilleras.

2.1.3 Efecto antrópico

El valle central del sur de Chile, se ha caracterizado por sucesivos eventos de colonización con deforestación y luego abandono con regeneración del bosque nativo, incluso desde antes de la llegada de los colonos europeos. Sin embargo, la mayor deforestación para esta zona, ha ocurrido a partir de la mitad del siglo XIX hasta la actualidad (Otero 2006).

Relatos históricos evidencian que a la llegada de los colonos europeos, ya existía un paisaje tipo “parque” de los bosques de roble, laurel y lingue; desde la provincia de Cautín hasta el río Toltén; entre Pitrufrquén y Villarica; y en los valles de Osorno (Donoso 1983, Otero 2006). Durante el periodo colonial, se produjo un gran despoblamiento de los valles del sur, que permitió la regeneración y recubrimiento de estos terrenos con bosque nativo. A mediados del siglo XIX, por medio del arribo de colonos e implementación del ferrocarril, se buscó incorporar estos valles dentro de la producción agrícola nacional. Los procesos de repoblamiento en estas zonas trajeron consigo deforestación de extensas superficies por roce a fuego, y hacia mitades del siglo XX, el desarrollo de empresas forestales centradas en la extracción de bosque nativo (Donoso 1983, Otero 2006).

La modificación del paisaje forestal a nivel nacional generó intensos procesos erosivos, que buscan remediarse en los años sesenta, por medio de la reforestación de suelos erosionados con replantación de especies exóticas (Camus 2006, Otero 2006). A mediados de los años setenta, se duplica la tasa de plantaciones y el sector forestal abandona su rol principal de protector de suelos, en el marco de una nueva economía de exportación. A finales de los años setenta, la necesidad de más suelos para plantaciones de pino genera la sustitución de bosques nativos (Otero 2006, Armesto *et al.* 2010). Durante los años noventa, la expansión de la industria forestal produce un cambio de suelo preferentemente agrícola del valle central a plantaciones de eucaliptos (Hernández *et al.* 2009).

2.1.4 Condición actual.

Hoy, el valle central está cubierto principalmente por una formación artificial de grandes extensiones de praderas permanentes, quedando sólo algunos ejemplares aislados de individuos maduros de Roble y Laurel (Ojeda 1987, San Martín *et al.* 1991). Los pocos bosques remanentes de esta formación vegetacional, se encuentran en estado de renovales (Ojeda 1987, San Martín *et al.* 1991).

En base a las cartografías realizadas por CONAF *et al.* (1999, 2008a, 2008b, 2009), se han hecho algunas aproximaciones para estimar la superficie remanente de esta formación. Luebert y

Pliscoff (2006), estiman que el piso vegetacional “*Bosque caducifolio templado de Nothofagus obliqua y Laurelia sempervirens*” (análogo al BCS), presentó 28,6% de remanente durante el periodo 1996-1998. Hernández *et al.* (2009) estiman un 20,3% de remanente de BCS para el periodo 2006-2007. Sin embargo, no existen mediciones actuales y acuciosas de la superficie remanente y su distribución, lo que constituye el objetivo principal de este trabajo.

Estimaciones hechas por Luebert y Becerra (1998), determinan un nivel de protección por el SNASPE de 0,007% respecto a la superficie de distribución potencial del BCS, posteriormente Luebert y Pliscoff (2006) actualizan esta información a 0,1% de protección. Por lo anterior, Tacón *et al.* (2007) la considera como una de las 33 formaciones, que si bien están consideradas en el SNASPE, su nivel de representación es regular a malo.

2.2 Métodos cartográficos y caracterización del paisaje

La rapidez y extensión de los efectos de la actividad humana sobre la biosfera terrestre, han hecho urgente la necesidad de monitorear la condición del ambiente natural. Para responder a esta necesidad: geógrafos, ecólogos y biólogos de conservación, utilizando información de sensores remotos, han desarrollado nuevas disciplinas ecológicas a gran escala (Turner *et al.* 2001, Kerr y Ostrovski 2003).

Tanto los métodos cartográficos por medio de sensores remotos, como las nuevas disciplinas en ecología enfocadas sobre grandes extensiones espaciales, están en constante desarrollo. Existe un rápido avance tecnológico y metodológico en el área de sensores remotos, que permite obtener cartografías cada vez de mayor resolución, extensión y exactitud (Chuvienco 2002, Franklin y Wulder 2002). El avance en el conocimiento sobre procesos ecológicos a gran escala, ha permitido desarrollar variadas metodologías para evaluar el paisaje, las cuales van desde la caracterización de la cobertura de tierras por la ecología del paisaje, hasta la evaluación de la conectividad entre poblaciones por la ecología de metapoblaciones (Hanski 1998, Turner *et al.* 2001)

2.2.1 Cartografía a gran escala

Las actividades humanas afectan hoy a todos los ecosistemas terrestres y esta presión antrópica es cada vez más importante, tanto en intensidad como en extensión. Esto hace urgente el desarrollo de metodologías que permitan detectar y predecir cambios en el ambiente (Kerr y Ostrovsky 2003). Para esto, los sensores remotos han sido considerados como la fuente de información idónea para la

evaluación ambiental (Franklin y Wulder 2002). El monitoreo de la cobertura terrestre, surge producto del desarrollo de plataformas aéreas que captan los elementos presentes en la superficie y de metodologías para su procesamiento. Esto se llevó a cabo inicialmente por medio de protocolos para interpretación de fotografías aéreas, actualmente se elabora mayoritariamente con imágenes satelitales (Cihlar 2000).

La capacidad de cubrir grandes áreas en una sola escena, captar toda la superficie terrestre y recopilar información de la cobertura terrestre en un rango más amplio que el espectro visible, son sólo algunas ventajas que presentan los sensores remotos satelitales, frente a las fotografías aéreas. Estas características los hacen ser la fuente de información predilecta para cartografiar la cobertura terrestre en la actualidad (Cihlar 2000, Chuvieco 2002).

La clasificación estadística en imágenes satelitales permite resultados reproducibles, exhaustivos y más objetivos, al disminuir ambigüedades en la interpretación. Además, el desarrollo de protocolos de procesamiento, permiten desarrollar cartografías y evaluaciones más exactas de los resultados. Existen protocolos para: disminuir distorsiones en la información digital generada por topografía; realzar las diferencias captadas por los elementos de la superficie; además del desarrollo de métodos de clasificación digital que permiten evaluar la exactitud del resultado (Chuvieco 2002). Sin embargo, estudios referentes a grandes áreas como: países, regiones administrativas o regiones vegetales, que involucren dos o más imágenes, pudiendo combinar más de un sensor, son relativamente recientes, por lo que no existen protocolos estandarizados. Aunque se recomienda unir el conjunto de imágenes para el proceso de clasificación, un mosaico generado con imágenes de distinta fecha o sensor, merma la exactitud en los resultados. Tampoco existen métodos estandarizados para la corrección topográfica de un mosaico de imágenes. En definitiva, este es un campo de activo desarrollo, que debiera mejorar los actuales métodos de clasificación y validación (Franklin y Wulder 2002).

2.2.2 Caracterización del paisaje

La deforestación y fragmentación de hábitats son consideradas una de las mayores amenazas para la biodiversidad y los principales causantes de la extinción de poblaciones (Zipperer 1993). Poder comprender como se mantienen los ecosistemas remanentes naturales en el paisaje, es un reto importante para la conservación (Theobald 2006).

Un paisaje puede ser definido como un área en la que convergen patrones espaciales y procesos ecológicos que varían en el tiempo y el espacio. Por tanto, el paisaje es un sistema espacialmente

heterogéneo (Gustafson 1998). Los patrones espaciales corresponden a los elementos estructurales del paisaje, como lo es el tipo de cobertura. Los procesos ecológicos son las interacciones entre los elementos del paisaje, como el flujo de energía o movimiento de organismos (Turner 1989).

Distintas disciplinas han abordado el análisis de interacciones entre la heterogeneidad espacial y la distribución de organismos en un paisaje. Trabajos en ecología de poblaciones, han permitido comprender que las interacciones dentro y entre poblaciones pueden generar patrones espaciales y a su vez estos patrones influyen el comportamiento de especies, poblaciones y comunidades (Huffaker 1958, Farina 1998, Turner *et al.* 2001). La teoría de biogeografía de islas, considera como efecto positivo el tamaño de la isla o parche y efecto negativo el aislamiento, respecto a la riqueza de especies y persistencia de estas, respectivamente (MacArthur y Wilson 1963). Modelos metapoblacionales estudian los ecosistemas bajo una perspectiva de hábitats fragmentados, en donde pequeñas poblaciones locales propensas a la extinción, sólo podrán persistir regionalmente en el caso de que existiese un balance positivo entre las tasas de colonización y extinción (Levins 1969, Turner *et al.* 2001). Los modelos de grafo, buscan caracterizar la posible conectividad entre parches de hábitat por un potencial de dispersión (Urban *et al.* 2009). En definitiva, la evaluación del paisaje visto desde distintas disciplinas, ha enriquecido la base teórica y aportado metodologías para la ecología espacial (Hanski 1998, Turner *et al.* 2001).

3. MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El área de estudio comprende la superficie definida por Gajardo (1994) para el BCS, la cual se ubica en el valle central de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, entre los 38,5 y 41° latitud sur (Figura 1).

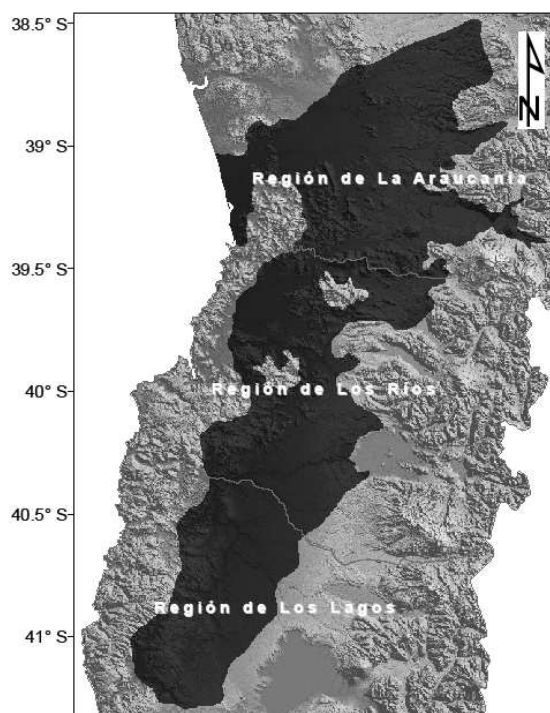


Figura 1. Ubicación geográfica del Bosque Caducifolio del Sur.

3.2 Materiales

3.2.1 Base cartográfica y SIG

Se usó como base para este trabajo la actualización del Catastro de Uso del Suelo y Vegetación, para las Regiones de Los Lagos, Los Ríos y La Araucanía, correspondientes a monitoreos en los años 2006, 2006 y 2007, respectivamente (2008a, 2008b y 2009). Además, se utilizó el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) Aster, con 30 m de resolución espacial¹.

3.2.2 Sensores remotos por imágenes satelitales

Se utilizó un conjunto de 18 escenas ASTER, proporcionadas por el Laboratorio de Análisis Cuantitativo de Recursos Naturales, de la Universidad de La Frontera y 4 imágenes Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)². Los criterios de selección de imágenes consideraron lo reciente de la

¹ Disponible en: <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>.

² Disponible en: <http://glovis.usgs.gov/>

imagen y la calidad de esta (bajo contenido de nubes), siendo en su conjunto del periodo 2005 a 2009 (Anexo 1).

3.2.3 Programas computacionales utilizados

Se utilizaron los programas:

- a. Erdas 9,1 para la clasificación de imágenes.
- b. Fragstat 3,3 para el cálculo de índices de paisaje.
- c. ArcMap 9,3 para la generación de mapas cartográficos.

3.3 Generación cartográfica del Bosque Caducifolio del Sur

La metodología utilizada para la generación cartográfica del BCS, se resume en el esquema de la Figura 2.

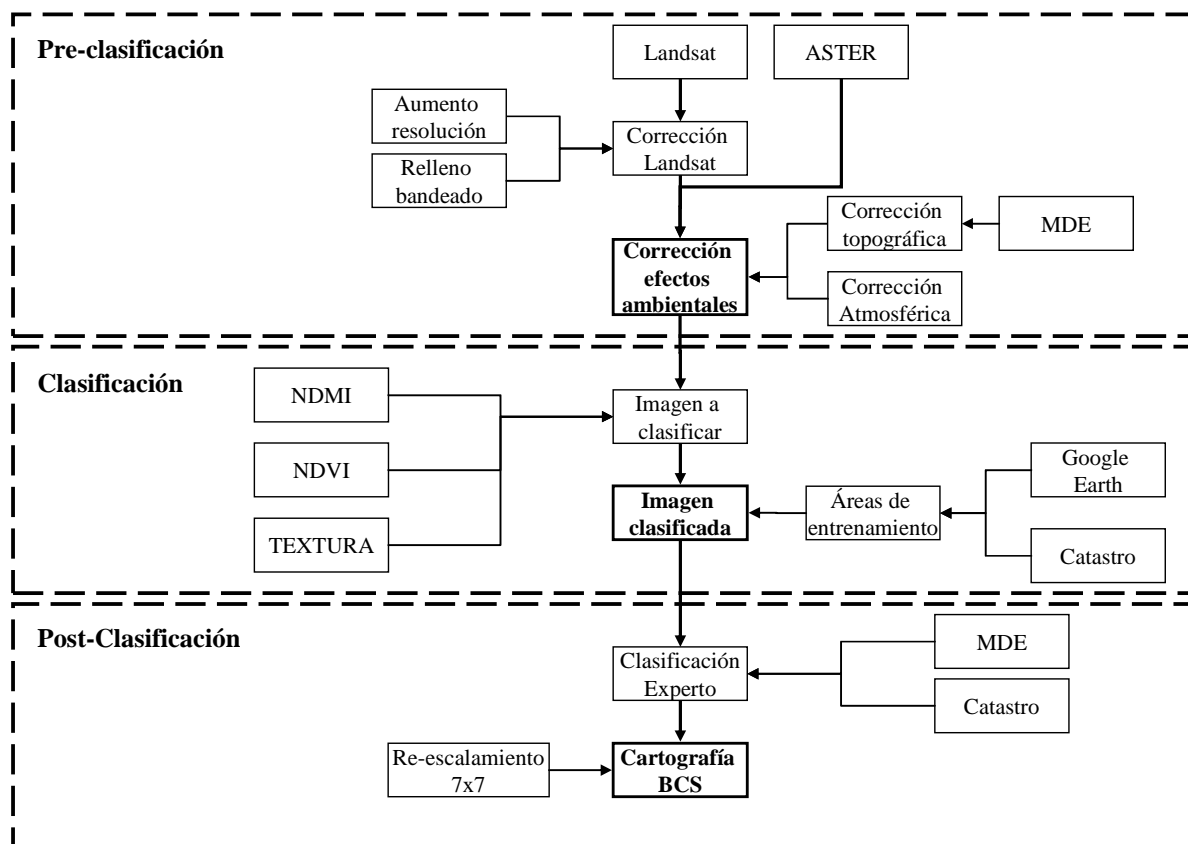


Figura 2. Metodología para la generación cartográfica del Bosque Caducifolio del Sur. (Fuente:

Elaboración propia)

3.3.1 Pre-clasificación

La preclasificación consistió en correcciones topográficas y atmosféricas. Estas permiten controlar los efectos ambientales de sombreamiento en laderas opuestas a la orientación solar, y homogeneizar la tonalidad de la vegetación dado los gases atmosféricos, que generan distorsiones en la captación de la respuesta de la vegetación. Las correcciones topográficas se hicieron por medio del método no-lambertiano de sustracción de sombras en zonas montañosas (Mariotto y Gutschick 2010). Las correcciones atmosféricas se realizaron por medio de un ajuste en los Niveles Digitales (ND) de la imagen en relación a los ND de cuerpos oscuros (Chuvieco 2002).

La identificación del tipo de cobertura de tierras en las áreas cubiertas por nubes de las imágenes ASTER, se realizó con imágenes Landsat 7 sensor ETM+ SLC-off del año 2008. Estas imágenes están compuestas por un conjunto de bandas multiespectrales de 30 m, térmicas de 90 m y una pancromática de 15 m. Cabe notar que este sensor desde el año 2003 presenta un error del corrector de la línea de escaneo (SCL por sus siglas en inglés), lo cual genera una pérdida de información en forma de líneas periódicas llamado “bandeado”. Para tener una resolución espacial similar al sensor ASTER (15 m) y rellenar el bandeado de las imágenes Landsat, se aumentó la resolución de las bandas multiespectrales a 15 m, de acuerdo a la información de la banda pancromática con el algoritmo SFIM (Smoothing Filter-based Intensity Modulation) (Liu 2000), y se hicieron mosaicos entre dos imágenes de igual ubicación espacial con fecha de adquisición cercana, como lo propone Rodríguez (2009), respectivamente. Estos métodos son ampliamente aceptados y utilizados hoy en día. (Figura 3).

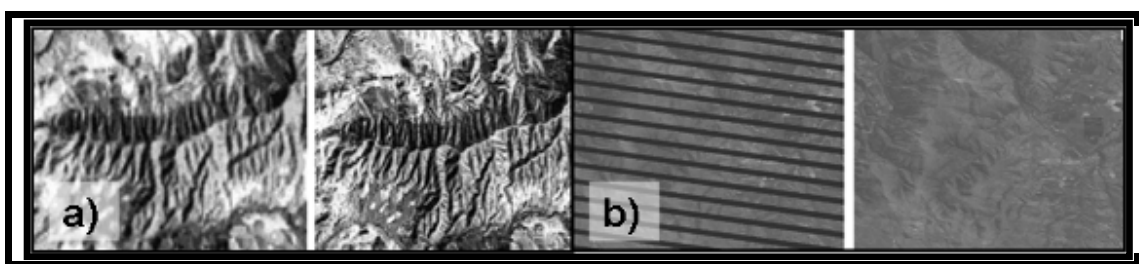


Figura 3. Pre-procesamiento de imágenes Landsat, a) Muestra el re-escalamiento de imágenes Landsat por la banda pancromática. b) Muestra la corrección del bandeado de imágenes Landsat.

3.3.2 Clasificación

Para la clasificación de imágenes se utilizaron las bandas multiespectrales de las escenas ASTER y Landsat, además de los índices de textura, NDMI y NDVI. Este procedimiento permite

diferenciar de mejor forma el bosque nativo de las plantaciones forestales (Hoffhine y Sader 2002, Lillesand *et al.* 2004, Altamirano y Lara 2010).

Se clasificó el tipo de cobertura de tierras en las categorías de: Bosque nativo adulto, Bosque nativo renoval, Plantación forestal, Praderas, Matorrales, Suelo desnudo, Humedales, Infraestructura urbana y Cuerpos de agua.

Se generaron categorías por tipo de cobertura de tierras mediante el método de clasificación supervisada y el algoritmo de máxima probabilidad. Este considera que cada categoría de cobertura de tierras, presenta una distribución de frecuencias normal en los ND de la imagen, logrando identificar cada categoría en función de probabilidades (Keuchel *et al.* 2003).

Las áreas de entrenamiento necesarias para la clasificación estadística, fueron definidas mediante información auxiliar provenientes del Catastro de Uso del Suelo y Vegetación, actualización Región de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos (CONAF *et al.* 2008a, 2008b y 2009) e imágenes GoogleEarth®. Para cada área de entrenamiento se fijó un mínimo de 200 píxeles que presenten distribución normal en sus niveles digitales. Además, para cada una de estas áreas de entrenamiento se evaluó la diferencia espectral respecto al resto, seleccionándose sólo las que presentaron un grado de separabilidad entre distintos tipos de cobertura de tierras, por divergencia transformada mayor a 1800, el cual es considerado como bueno (Erdas 1999).

3.3.3 Post-clasificación

Se utilizaron árboles de decisión para la corrección de errores en la clasificación. La generación de estos árboles, se hizo utilizando información auxiliar del Catastro de Uso del Suelo y Vegetación (CONAF *et al.* 2008a, 2008b y 2009) y el MDE (Figura 4).

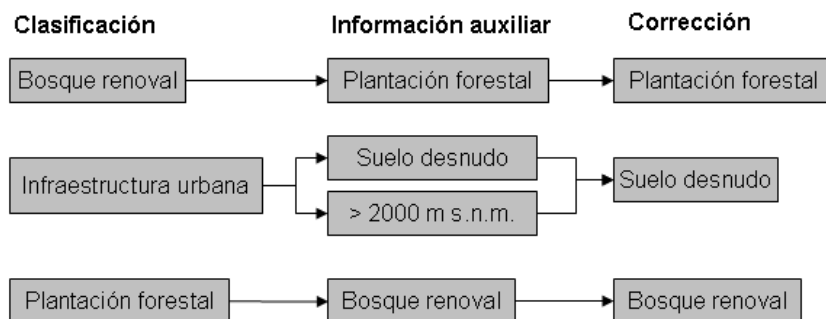


Figura 4. Ejemplo de un árbol de decisiones en el proceso de clasificación experto.

El mapa temático resultante, se llevó a una escala cercana a la Mínima Unidad Cartografiable para este tipo de imágenes, por medio de la transformación de este mapa a la dominancia del tipo de cobertura de tierra en ventanas de 7x7 celdas. Esto permitió identificar mejor las formas de los remanentes de bosque en el paisaje, por la corrección de errores en la detección a nivel de píxel (Chuvienco 2002, Lencinas y Siebert 2009).

Las categorías “Cuerpos de agua” y “Humedales” fueron simplificadas a “Cuerpos de agua” y “Praderas” y “Suelo desnudo” a “Praderas o suelo desnudo”. Esto ya que fue difícil reconocer diferencias espectrales entre algunos “Cuerpos de agua” y “Humedales”; y se identificó una elevada velocidad de transformación desde algunas “Praderas” hacia “Suelo desnudo”.

3.3.4 Evaluación de la exactitud cartográfica.

Para verificar la calidad del mapa resultante, se comparó este mapa y la realidad con muestras en terreno, siguiendo el método propuesto por Congalton (1991). En particular se enfatizaron las zonas de validación para bosque nativo adulto, bosque nativo renoval y matorrales. La fácil identificación de las demás categorías, permitió el uso de Google Earth® para validarlas.

3.3.5 Identificación del Bosque Caducifolio del Sur remanente

Se excluyó del análisis los bordes de bosque identificados por medio del filtro “7x7 Summary”, para minimizar el efecto de franjas lineales de vegetación en la contigüidad de los parches identificados. A los parches finales de bosque nativo, se le excluyeron las áreas boscosas de tipo Laurifolio y Pantanoso (Gajardo 1994, Larraín 2011).

Los parches considerados como remanente del BCS, fueron los que presentan una superficie continua superior a las 0,5 ha, y que se encuentran distribuidos completamente, o en su mayor proporción de superficie, dentro de los límites propuestos por Gajardo (1994).

3.4 Caracterización espacial del Bosque Caducifolio del Sur

La caracterización espacial del BCS consistió en una cuantificación de la estructura espacial e identificación del remanente protegido. La cuantificación de la estructura espacial comprende el cálculo de la superficie remanente y descripción de la configuración espacial por medio de un conjunto de índices (o métricas) de paisaje (Botequilha *et al.* 2006). La identificación del remanente protegido,

corresponde a un análisis sobre el nivel de representatividad del BCS existente hoy, respecto a los distintos sistemas públicos y privados encargados de la protección de ecosistemas en el país. El nivel de protección (o representatividad) en el BCS, se determinó por medio de información auxiliar sobre los distintos sistemas de protección de ecosistemas presentes dentro del paisaje del BCS, siendo estos: Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE), Áreas Silvestres Protegidas Privadas (ASPP) y Bienes Nacionales.

3.4.1 Índices de paisaje

El conjunto de índices de composición y configuración, utilizados para describir la actual condición estructural en el paisaje del BCS se describen en el Cuadro 1.

El Porcentaje de Paisaje (PLAND) fue el único índice de composición y a nivel de paisaje calculado. Este permite comprender la condición general para el área de distribución potencial del BCS, al entregar los tipos de cobertura de tierras dominantes para esta área y cuanto remanente existe del BCS.

Adicional al cálculo de superficie por tipo de cobertura, se calculó un conjunto de índices a nivel de clase, con el fin de contextualizar aspectos generales de la configuración actual del paisaje (Botequilha *et al.* 2006). Estos índices fueron calculados para las categorías de Bosque Caducifolio del Sur y las otras dos categorías con mayor PLAND, para evaluar las clases más representativas del paisaje actual.

Finalmente, Para caracterizar aspectos referentes a la configuración del bosque remanente, es que se incluyó un conjunto de índices a nivel de parche. Estos índices se relacionaron en algunos casos con distribución espacial y altitudinal. Los análisis realizados fueron: número de parches por rango de tamaños y porcentaje de superficie por rango de tamaños respecto al total remanente (Representatividad por rango de tamaños). Superficie remanente por rango altitudinal y superficie total por comuna administrativa.

Se creó un índice para cuantificar el grado de aislamiento entre parches y la influencia de los parches pequeños en la posible conectividad global. Este índice consistió en calcular la distancia del vecino más cercano para cada parche del remanente total, luego se realizó el mismo cálculo al considerar solamente parches mayores a 100 ha, 200 ha y 400 ha. Posteriormente, se procedió a calcular el porcentaje de remanentes en el paisaje que se encontrarían vinculados con su vecino más cercano, bajo distintas distancias y de acuerdo a la distinta selección de tamaño mínimo parches en el paisaje.

Cuadro 1. Índices de paisaje utilizados para describir la condición actual dentro del área de distribución histórica del Bosque Caducifolio del Sur.

Tipo de índice	Nombre del índice	Descripción	Unidad
Paisaje	Porcentaje de paisaje (PLAND)	Porcentaje de paisaje que cubre cada tipo de cobertura	%
	Número de parches (PN)	Número de parches para un tipo específico de cobertura	*
Clase	Tamaño medio de los parches (AREA_MN)	Tamaño medio de parches de un tipo específico de cobertura.	ha
	Índice del Parche más grande (LPI)	Porcentaje de área total del paisaje que cubre el parche más grande de una categoría de cobertura específica	%
	Distancia media del vecino más cercano (ENN_MN)	Valor promedio de la distancia más corta entre pares de parches más cercanos, para todo el conjunto de parches que componen un tipo de cobertura específica	m
	Tamaño de parche (AREA)	Superficie que se encuentra cubierta de forma continua por un tipo específico de cobertura.	ha
Parche	Distancia del vecino más cercano (ENN)	Distancia más corta desde el borde de un parche hacia el vecino más cercano de igual tipo de cobertura.	m

*: Índice adimensional

3.4.2 Superficie protegida del Bosque Caducifolio del Sur

El actual nivel de protección del BCS se evaluó por medio de la información digital más actualizada y completa que fue posible obtener, respecto a las áreas protegidas presentes en este paisaje. Se utilizaron como cobertura base los trabajos de CONAF *et al.* (2008a, 2008b y 2009) que contienen los límites del SNASPE, también se utilizó CONAMA (2005), que genera una cartografía de las ASPP. Esta información fue complementada con una actualización de las ASPP y se incluyeron los Bienes Nacionales de Uso Público, correspondientes a los predios Llancahue y Rucamanque, de

acuerdo a un trabajo actual de WWF^{3,4} e información del Laboratorio de análisis Cuantitativo de Recursos Naturales⁵

Con esta información se cuantificó la superficie total cubierta por tipo de área protegida (SNASPE, ASPP o Bien Nacional), cuánto protegen de los límites de distribución potencial del BCS, qué tipo de coberturas de tierra se están protegiendo, y con esto cuánta superficie y porcentaje protegido presenta hoy el BCS remanente, a nivel del paisaje total y según división comunal.

4. RESULTADOS

4.1 Evaluación de exactitud cartográfica

El mapa temático generado alcanzó una confiabilidad global de 84,3%, para el cual los errores de omisión variaron entre 6 y 14% y errores de comisión entre 2,2 y 40%. Los mayores errores por omisión (sub-estimación), los presentó la categoría de praderas o suelo desnudo, principalmente por confusiones con infraestructura urbana y bosque renoval. Esto se asocia con la falta de identificación de algunos pequeños poblados y villorrios, y la sobre estimación de bordes de bosque en algunas imágenes. Los errores de comisión (sobre-estimación), se presentaron principalmente en bosque nativo renoval, clasificándose erróneamente como bosque adulto y matorrales, lo cual se origina por ser una categoría intermedia entre ambos tipos de cobertura de tierras, con falta de diferencias espectrales en algunos casos (Anexo 2).

4.2 Caracterización espacial

4.2.1 Caracterización general del paisaje

De acuerdo a la clasificación de imágenes realizada, el área de ocupación potencial del Bosque Caducifolio del Sur se encuentra ocupada principalmente por Praderas, Terrenos de cultivo o Suelo

³ Alberto Tacón, 2011, Valdivia WWF, “Actualización de las coberturas vectoriales de las ASPP y Bienes Nacionales de la Región de Los Ríos”, Comunicación personal.

⁴ Aldo Farías, 2011, Valdivia WWF, “Actualización de las coberturas vectoriales de las ASPP a nivel nacional”, Comunicación personal.

⁵ Cristian Salas, 2011, Temuco Universidad de La Frontera, “Coberturas vectoriales del predio Rucamanque”, Comunicación personal.

desnudo (61,37%), seguido de Bosque nativo (21,95%) y Plantaciones forestales (11,76%). Cabe destacar, que casi la mitad del bosque nativo presente dentro de los límites potenciales de ocupación del BCS, correspondería a bosque laurifolio de las laderas de ambas cordilleras que caen en los límites este y oeste de la formación del BCS (8,48%) (Anexo 3). Por lo anterior, se estima que el bosque remanente de esta formación (principalmente renovales), cubriría unas 250.000 ha, representando un 13,3% de su área de distribución potencial (Cuadro 2).

Cuadro 2. Grado de ocupación por tipos de cobertura de tierra en el área de distribución potencial del Bosque Caducifolio del Sur

Cobertura de tierra	Superficie	
	Hectáreas	%
Infraestructura Urbana	12.930	0,68
Plantación Forestal	223.714	11,76
Pradera o suelo desnudo	1.166.994	61,37
Matorral	25.454	1,34
Cuerpos de agua	53.332	2,80
Área no clasificada	1.775	0,10
BOSQUE NATIVO	417.459	21,95
BCS Adulto	50.752	2,67
BCS Renoval	202.507	10,65
Bosque Pantanoso*	2.991	0,16
Bosque Laurifolio o BCS < 0,5 ha	161.209	8,48
TOTAL	1.901.657	100,00

*Larraín (2011).

4.2.2 Caracterización espacial del remanente

Una característica importante a nivel de clase se presenta en la categoría de praderas, la que posee una configuración espacial muy agrupada, que se expresa por la presencia de un parche que representa casi la mitad del total cubierto por esta categoría. En general las características estructurales de configuración, como tamaño de los parches, distancia del vecino más cercano y dimensión fractal son muy variables, por lo que no se pueden identificar diferencias a nivel de clase (Cuadro 3).

Cuadro 3. Índices de paisaje a nivel de clase.

	PLAND	PN	AREA	LPI	ENN	FRAC
BCS	13,3	21.746	11,4(± 82,1)	0,37	198,8(± 169,7)	1,087(± 0,046)
Praderas	61,4	28.470	41,0(± 3.943)	25,4	158,6 (± 240,4)	1,055(± 0,044)
Plantaciones	11,8	16.394	13,6(± 128,7)	0,25	183,9(± 286,1)	1,061(± 0,046)

Las praderas dominan casi todo el rango altitudinal. Solamente en las reducidas áreas por sobre los 800 m s.n.m. dominan bosques laurifolios cordilleranos. Las plantaciones forestales tienen su mayor representación para altitudes entre los 100 y 400 m s.n.m. Si bien el porcentaje de ocupación del BCS es bajo respecto a praderas principalmente, casi todo el remanente actual se puede encontrar bajo los 500 m s.n.m. (Anexo 4).

Respecto al BCS remanente, de sus 21.700 parches totales, sólo 178 tienen superficies mayores a las 200 ha, que representan el 38% de la superficie total remanente (Figura 5). La evaluación de aislamiento por medio del índice creado, muestra la importancia que tienen los parches pequeños en superficie, para la conectividad del paisaje total del BCS. Con una capacidad de 200 metros de movimiento por fuera del parche: 70% de estos se encontrarían conectados al menos a un parche vecino, 40% al considerar sólo los parches mayores a 100 ha, 30% si se consideran sólo los mayores a 200 ha y 17% para mayores a 400 ha (Figura 6).

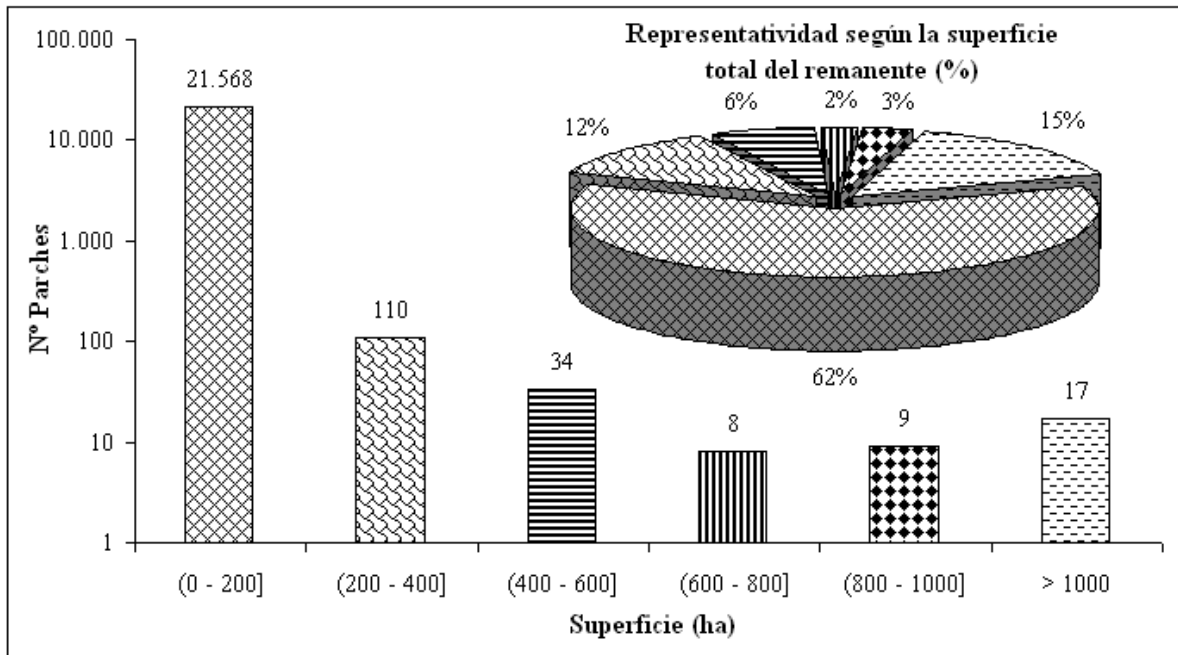


Figura 5. Número de parches y nivel de representatividad del total remanente según rango de tamaños.

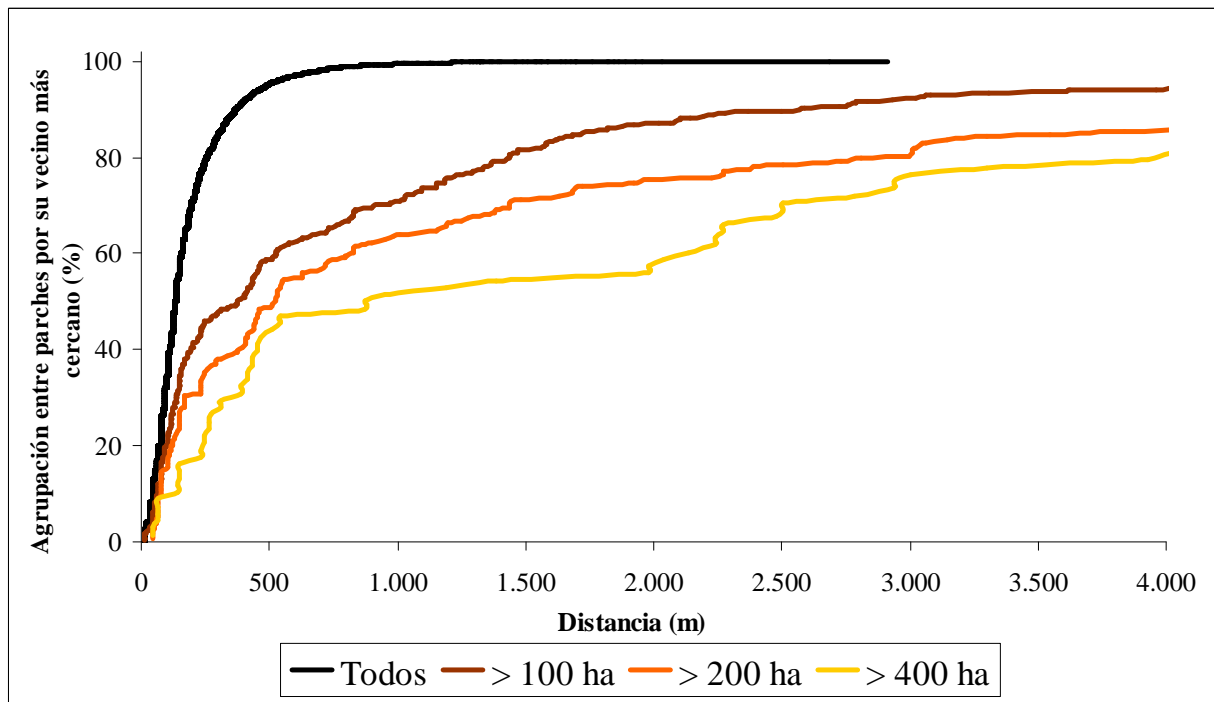


Figura 6. Conectividad del paisaje al considerar distintos tamaños de parches y bajo distintas distancias de dispersión.

Si bien esta formación vegetal tiene una extensión espacial muy amplia, cubriendo 41 comunas administrativas, sólo siete de éstas (Loncoche, Osorno, Fresia, Los Lagos, Purranque, Gorbea y Valdivia) representan el 40% del total remanente, y poseen 13 de los 20 parches de mayor tamaño (Figura 7).

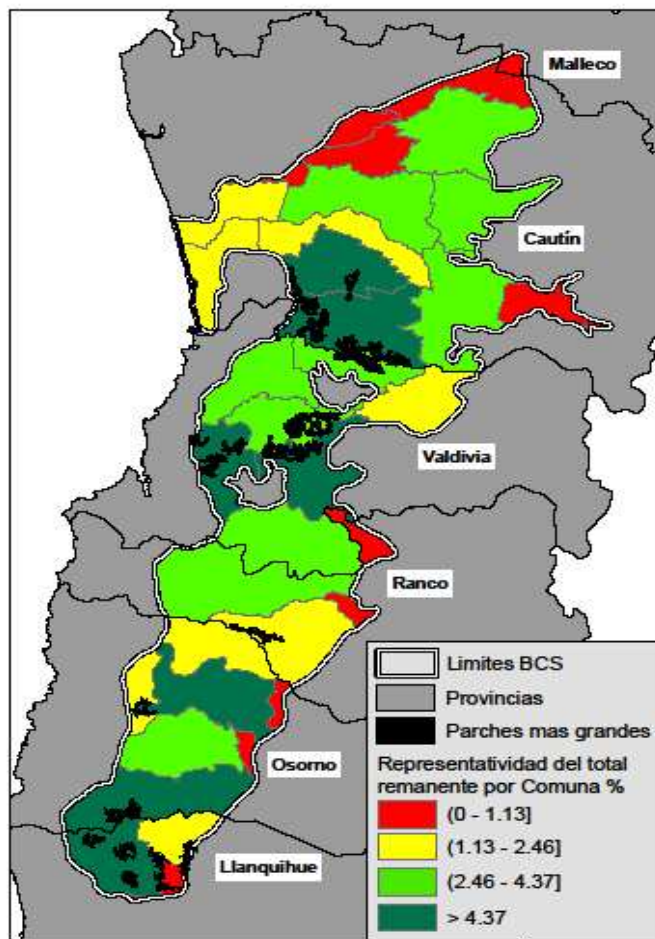


Figura 7. Nivel de representatividad de las comunas administrativas respecto al remanente actual del Bosque Caducifolio del Sur.

4.2.3 Nivel de protección del remanente

Hoy existe una superficie total protegida de al menos 15.270 ha, la cual representa 0,8% del área de distribución original del BCS. De esta superficie 3.380 ha son consideradas como BCS, lo que representa el 1,55% del remanente actual. Las ASPP, con 50 predios que protegen un total de 11.870 ha, son el tipo de área protegida más abundante de este paisaje. La mayoría de los predios que presentan ASPP se encuentran principalmente cubiertos por praderas. El BCS de las ASPP posee un

total de 2.360 ha. Sólo hay un área protegida del SNASPE dentro de los límites del BCS, correspondiente a la Reserva Nacional Villarica Sector Queule, en la cual dominan bosques de tipo laurifolio. Por último, Sólo los dos terrenos del Ministerio de Bienes Nacionales (Llancahue y Rucamanque), permiten proteger una superficie remanente de 1.520 ha. (Figura 8, Anexo 5).

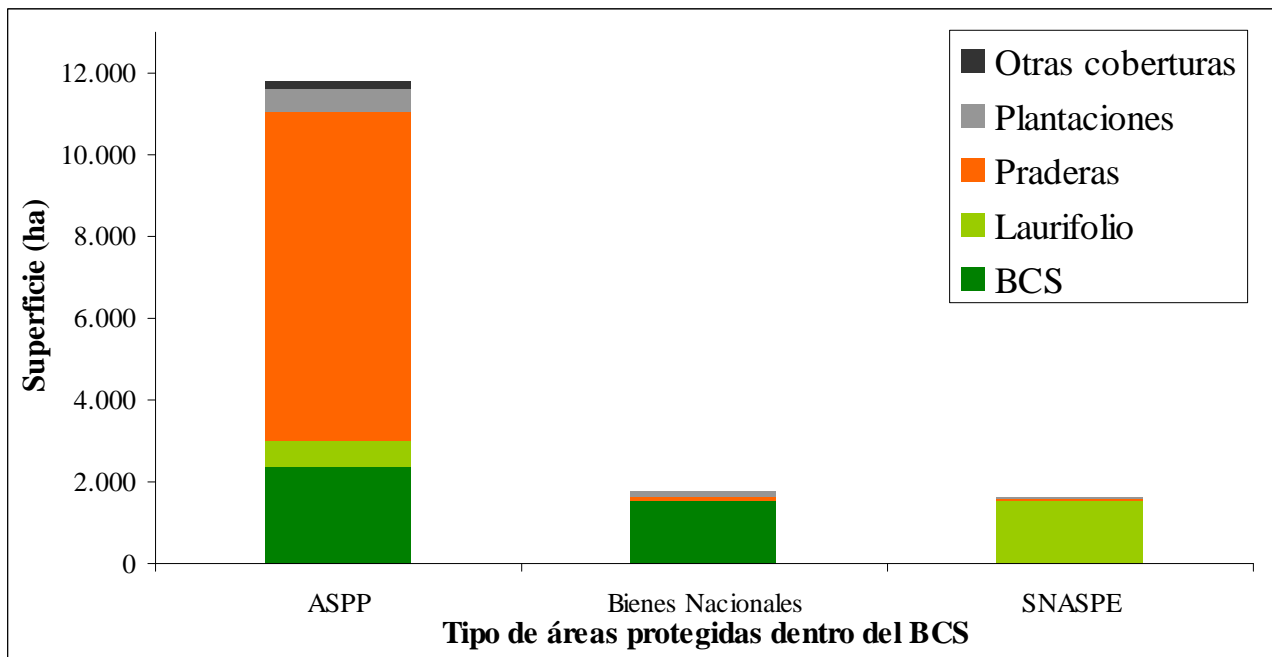


Figura 8. Superficie total por tipo de área protegida y tipo de cobertura protegida en el paisaje del Bosque Caducifolio del Sur.

De las 41 comunas administrativas que cubre esta formación vegetal, 21 presentan algún grado de protección por ASPP y Bienes Nacionales. Sin embargo, solamente en las comunas de Valdivia, Temuco y Los Lagos, el total protegido está representado en al menos 40% por BCS remanente. Las áreas protegidas en Fresia y La Unión no resguardan BCS remanente (Figura 9). Sólo las comunas de Temuco y Valdivia tienen hoy un porcentaje de protección por sobre el 10% del total existente comunal (Anexo 6).

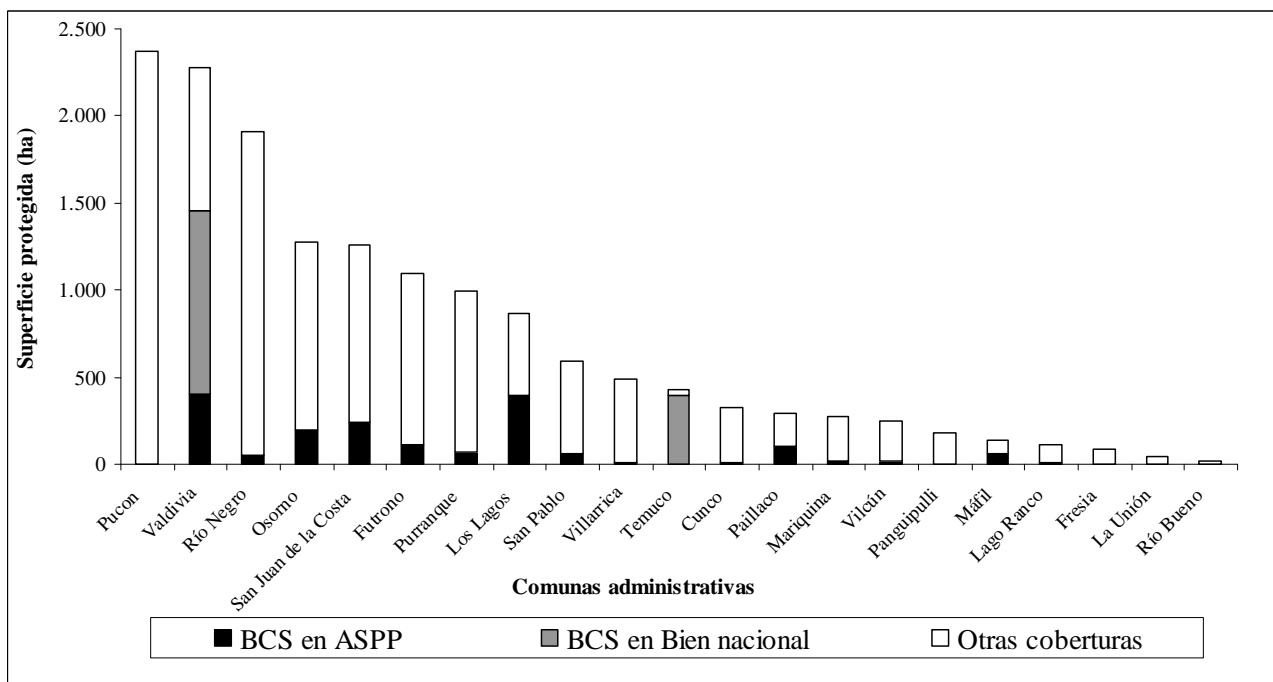


Figura 9. Superficie total y Bosque Caducifolio del Sur remanente protegido por comuna administrativa.

5. DISCUSIÓN

5.1 Generación cartográfica

Este trabajo permitió generar una cartografía actualizada para el área de distribución potencial del Bosque Caducifolio del Sur (Gajardo 1984). La generación de esta cartografía, de mayor resolución que el “Catastro” y más actualizada, puede ser un importante insumo para futuras propuestas de conservación de los remanentes de este bosque a nivel del paisaje.

Aunque no existen grandes diferencias cualitativas entre la superficie de bosque nativo estimada por esta aproximación y las estimaciones realizadas con información del “Catastro” (CONAF *et al.* 1999, 2008a, 2008b, 2009, Luebert y Pliscoff 2006, Hernández 2009), es difícil comparar ambos resultados. Pues al desarrollar una cartografía de mayor resolución, aparece un gran número de parches no identificados por el “Catastro”.

El desarrollo de una cartografía de gran extensión espacial, que emplea un conjunto de imágenes y combina distintos sensores satelitales, no está ajena a problemas metodológicos. Por

ejemplo, desarrollar clasificaciones independientes entre imágenes, provoca que la calidad cartográfica varíe entre cada imagen (Franklin y Wulder 2002). Sin embargo, el error cartográfico es comparable a otros trabajos, si se acepta haber captado gran parte de la variabilidad espacial de cada imagen (Newton *et al.* 2009).

La metodología utilizada, si bien genera cierta incertidumbre en la exactitud general de los resultados, permite minimizar otros problemas comunes para clasificación de imágenes en grandes áreas. Por ejemplo, la clasificación independiente entre imágenes, permitió disminuir errores asociados a cambios fenológicos en la vegetación, por diferencia en la fecha de adquisición de imágenes y diferencias en la captación espectral por distintos sensores (Chuvienco 2002). Aunque en este trabajo no se cuantificaron las mejoras en exactitud cartográfica logradas por la utilización de distintos índices y clasificación experto, estas mejoras están bien registradas por un trabajo de Cristian Jiménez⁴, el cual determina que el índice de textura y la clasificación experto, permitieron aumentar la confiabilidad global de 88,2 a 93,6 % para la imagen ASTER número 5 utilizada en este trabajo (Anexo 1).

5.2. Caracterización espacial del remanente

Es necesario destacar que los límites entre esta formación vegetal y las colindantes no son abruptos sino graduales, por lo que cualquier delimitación de esta comunidad vegetal, resulta una abstracción de la realidad. La delimitación de los bosques dominados por Roble, Laurel y Lingue, corresponden a la mejor estimación posible a ser llevada a cabo con la información actual. La delimitación del área de distribución, se realizó en base a los límites propuestos por Gajardo (1994) para este bosque y los límites definidos por Larraín (2011) para los bosques de “hualves” de la Región de Los Ríos. Los bosques de “hualves” presentes en la región de La Araucanía y Los Lagos y bosques de “Ñadis”, presentes en el valle central entre Valdivia y Puerto Montt (Veblen y Schlegel 1982) no fueron posibles de excluir del análisis, ya que no existen trabajos que delimiten a estas comunidades.

La extensa distribución espacial de esta formación vegetal, dificulta una caracterización espacial general por tipos de cobertura con índices de paisaje. Existe un gran número de parches por cada tipo de cobertura, los cuales presentan gran variabilidad en sus características de configuración, por lo que no fue posible caracterizar el paisaje a nivel de clases más que por los índices de porcentaje del paisaje y número de parches.

⁴Cristian Jiménez, 2011, UFRO, “Evaluación de la exactitud de distintos métodos de clasificación de imágenes en paisajes del Sur de Chile”, Comunicación personal.

Por otro lado, la caracterización para el remanente del Bosque Caducifolio del Sur, permite conocer que: esta formación presenta hoy una baja superficie remanente (Cuadro 2), la cual está concentrada principalmente en altitudes bajo los 500 m s.n.m. (Anexo 4) y sin embargo su composición se presenta distribuida heterogéneamente dentro de sus límites de distribución original (Figura 7), principalmente por parches de pequeños tamaños (Figura 5), los cuales podrían otorgarle una mayor conectividad estructural al total remanente (Figura 6).

La cuantificación de la superficie protegida del BCS, corresponde a un intento por dar respuesta a la condición actual de esta formación. Sin embargo, se desconoce si las áreas protegidas consideradas en este trabajo, son todas las áreas protegidas presentes dentro de esta formación vegetal. La existencia de una futura cobertura digital oficial, que agrupe a todas las categorías de áreas protegidas públicas y privadas, permitiría realizar mejores estimaciones del nivel de protección real, tanto para esta formación vegetal como de otras comunidades que requieran monitoreo.

La aproximación realizada en este trabajo, permite estimar que al menos 0,8% del área distribución potencial del BCS se encuentra hoy protegida, la que permite resguardar 1,55% del remanente actual de BCS, que está representado en su totalidad por ASPP y terrenos de Bienes Nacionales (Figura 8). De acuerdo a los límites administrativos sólo las comunas de Valdivia y Temuco logran proteger más del 10% de su remanente actual (Anexo 6). En definitiva, al incorporar las ASPP y Bienes Nacionales para la evaluación del nivel de protección, el área protegida aumenta considerablemente de las anteriores estimaciones (Luebert y Becerra 1998, Luebert y Pliscoff 2006). Sin embargo, el nivel de protección sigue siendo deficiente, ya que está muy por debajo del la 5% de superficie mínima protegida que debiera tener cualquier ecosistema (Tacón *et al.* 2007).

Estos resultados permiten caracterizar cuantitativamente la distribución espacial y nivel de protección actual del bosque remanente de esta formación. Sin embargo, no se relacionan los patrones espaciales con procesos ecológicos. Goodwin y Fahrig (2002) hablan de la conectividad de hábitats como un atributo importante para la persistencia de poblaciones en paisajes modificados. Por lo cual sería importante evaluar la conectividad funcional de este paisaje en base a una especie focal. Esto permitiría conocer posibles aislamientos entre poblaciones y la importancia de ciertos parches para la persistencia de la actual conectividad del paisaje (Bunn *et al.* 2000, Minor y Urban 2008), por tanto, los futuros sitios prioritarios a proteger.

6. CONCLUSIONES

De los resultados presentados y discutidos en los capítulos anteriores se desprenden las siguientes conclusiones:

1. El Bosque caducifolio del Sur cubre actualmente 13,3% de su área de distribución potencial.
2. Esta compuesto por 21.700 parches de los cuales solamente 178 tienen superficies mayores a 200 ha.
3. Los parches menores a 200 ha permiten un mayor nivel de agregación para el remanente total de esta formación vegetal.
4. Las comunas administrativas de Loncoche, Osorno, Fresia, Los Lagos, Purranque y Valdivia poseen cerca del 40% del remanente total y los parches de mayor tamaño.
5. El actual conjunto de áreas protegidas, compuesto por: el Sistema Nacional de Áreas Silvestre Protegidas por el Estado, Áreas Silvestres Protegidas Privadas y terrenos de Bienes Nacionales, permiten proteger hoy 0,8% del área de distribución potencial, que contiene 1,55% del remanente actual.
6. La cartografía generada puede constituir un importante insumo para futuras propuestas de conservación de los remanentes de esta formación.
7. Se sugiere utilizar la cartografía generada para evaluar la conectividad entre hábitats-parche, lo cual permitiría identificar cuales de ellos son más importantes de conservar, al asegurar la persistencia de la actual conectividad entre los remanentes de esta formación vegetal.

7. REFERENCIAS

Altamirano A, A Lara. 2010. Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro-sur de Chile. *Bosque* 3(1):53-64

Armesto J, D Manushevich, A Mora, C Smith-Ramirez, R Rozzi, A Abarzúa, P Marquet. 2010. From the holocene to the Antropocene: A historical Framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years. *Lands Use Policy* 27:148-160

- Botequilha A, J Miller, J Ahern, K McGarigal. 2006. Measuring landscape, a planner`s handbook. Washington,USA. Island Press. 245 p.
- Bunn AG, DL Urban, TH Keitt. 2000. Landscape connectivity; a conservation application of graph theory. *Journal of Environmental Management* 59: 265-278
- Camus P. 2006. Ambiente, bosques y gestión forestal en Chile 1541-2005. Santiago, Chile. LOM. 374 p.
- Chuvieco E. 2002. Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio. Barcelona, España. Ariel Ciencia. 586 p.
- Cihlar J. 2000. Land cover mapping of large areas from satellites:status and research priorities. *Int. J. Remote sensing* 21(6-7):1093-1114
- CONAF, CONAMA, BIRF. 1999. Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile, Informe Regional Décima Región. 137 p.
- CONAF, CONAMA, BIRF. 2008a. Catastro de Uso del Suelo y Vegetación, Monitoreo y Actualización Región de Los Ríos. Proyecto CONAF-UACH. Informe final. 58 p.
- CONAF, CONAMA, BIRF. 2008b. Catastro de Uso del Suelo y Vegetación, Monitoreo y Actualización Región de Los Lagos. Proyecto CONAF-UACH. Informe final. 15 p.
- CONAF, CONAMA, BIRF. 2009. Catastro de Uso del Suelo y Vegetación, Monitoreo y Actualización Región de La Araucanía. Proyecto CONAF-UACH. Informe final. 26 p.
- CONAMA. 2005. Iniciativas privadas de conservación correspondientes a la Red de Áreas Protegidas Privadas (RAPP) en Chile. Escala 1:250.000. Consultado 20 abr. 2011. Disponible en http://territorial.sinia.cl/arbol_tematico/default.php?chk_to=true&to=2&frame=FRM_CONTENIDO.

- Congalton R. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37:35-46
- Di Castri F, E Hajek. 1976. Bioclimatología de Chile. Santiago, Chile. Univ. Cat. de Chile. 128 p.
- Donoso C. 1981. Tipo Forestal roble-raulí-coigue. In Donoso C. Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Documento de Trabajo N°38. Investigación y Desarrollo Forestal. Santiago, Chile. CONAF, PNUD, FAO. p. 17-25.
- Donoso C. 1983. Modificaciones del paisaje Chileno a lo largo de la historia. In UACH. Simposio desarrollo y perspectivas de las disciplinas forestales en la Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. UACH. p. 365-438
- ERDAS. 1999. Erdas Field Guide. 5ª ed. Atlanta Georgia, USA. Erdas Inc. 698 p.
- Farina A. 1998. Principles and methods in landscape ecology. London, UK. Chapman & Hall. 235 p.
- Ferriere A. 1982. Distribución, flora y ecología de los bosques pantanosos de mirtáceas en la región de los lagos, Chile. Tesis Ingeniero Forestal. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 60 p.
- Franklin SE, MA Wulder. 2002. Remote sensing methods in medium spatial resolution satellite data land cover classification of large areas. *Progress in Physical Geography* 26(2):173-205
- Gajardo R. 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Santiago, Chile. Universitaria. 144 p.
- Goodwin B, L Fahrig. 2002. How does landscape structure influence connectivity? *Oikos* 99: 552-570
- Gustafson E. 1998. Quantifying Landsacape spatial pattern: what is the state of the art? *Ecosystems* 1:143-156
- Hanski I. 1998. Metapopulation dynamics. *Nature* 396: 41-49

- Hernández J, A Vásquez, MP Acuña, C Smith-Ramírez, L Cortés. 2009. Informe final diagnóstico y validación áreas claves Región XIV. Santiago, Chile. IEB/GEP. 123 p.
- Hueck K. 1978. Los bosques meridionales. *In* Hueck K. Los Bosques de Sudamérica. Berlín, Alemania. GTZ. p. 369-432
- Hoffhine E, S Sader. 2002. Detection of forest Harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment* 80: 385-39
- Huffaker C. 1958. Experimental studies on predation: dispersion factors and predator-prey oscillations. *Hilgardia* 27(14): 343-383
- Kerr J, M Ostrovsky. 2003. From space to species: ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology and Evolution* 18(6):299-305
- Keuchel J, S Naumann, M Heiler, A Siegmund. 2003. Automatic land cover analysis for Tenerife by supervised classification using remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 86:530-541.
- Larraín, F. 2011. Evaluación y propuesta de clasificación de los bosques pantanosos de mirtáceas (hualves), presentes en la XIV Región de Los Ríos, Chile. Tesis Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Santiago, Chile. Facultad de Agronomía, Universidad de Chile. 82 p.
- Lencinas J, D Siebert. 2009. Relevamiento de bosques con información satelital: Resolución espacial y escala. *Quebracho* 17(1-2):101-105
- Levins R. 1969. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America* 15: 237-240
- Liu JG. 2000. Smoothing filter-based intensity modulation: a spectral preserve image fusion technique for improving spatial details. *International Journal of Remote Sensing* 21(18): 3461-3472.
- Lillesand T, R Kiefer, J Chipman. 2004. Remote Sensing and image interpretation. New York, USA. John Wiley. 763 p.

- Luebert F, P Becerra. 1998. Representatividad vegetal del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) en Chile. *Ambiente y Desarrollo* 14(2):62-69
- Luebert F, P Pliscoff. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile. Santiago, Chile. Universitaria. 318 p.
- MacArthur R, E Wilson. 1963. An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution* 17(4): 373-387
- Mariotto I, V Gutschick. 2010. Non-Lambertian corrected albedo and vegetation index for estimating land evapotranspiration in a heterogeneous semi-arid landscape. *Remote Sensing* (2): 926-938
- Minor E, D Urban. 2008. A Graph-Theory Framework for Evaluating Landscape Connectivity and Conservation Planning. *Conservation Biology* 22(2): 297-307
- Moreira-Muñoz A. 2007. Plant geography of Chile, an essay on postmodern biogeography. Tesis Doctor en Ciencias Naturales. Núremberg, Alemania. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Erlangen-Nürnberg. 267 p.
- Newton AC, A Hill, C Echeverría, D Golicher, JM Rey Benayas, L Cayuela, S Hinsley. 2009. Remote sensing and the future of landscape ecology. *Progress in Physical Geography* 33(4): 528-546
- Ojeda N. 1987. Estudio florístico y vegetal del bosque de roble-laurel-lingue, en el centro-sur de Chile. Tesis Ingeniero Forestal. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 105 p.
- Otero L. 2006. La huella del fuego. Valdivia, Chile. Pehuén. 171 p.
- Quintanilla V. 1983. Geografía de Chile: Tomo III Biogeografía. Santiago, Chile. Instituto Geográfico Militar. 209 p.
- Ramirez C, F Ferriere, H Figueroa. 1983. Estudio fitosociológico de los bosques pantanosos templados del Sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 56:11-26

- Ramirez C, S Labbe, C San Martín, H Figueroa. 1990. Sinecología de los bosques de boldo (*Peumus boldus*) de la cuenca del Río Bueno, Chile. *Bosque* 11(1):45-56
- Rodriguez N. 2009. Rellenado de los gaps provocados por la falla del Scan Line Corrector en las imágenes Landsat 7 ETM+. Tesis Licenciado en Ciencias de la Computación. La Habana, Cuba. Facultad de Matemáticas y Computación, Universidad de La Habana. 49 p.
- San Martín C, C Ramirez, H Figueroa, N Ojeda. 1991. Estudio sinecológico de roble-laurel-lingue del centro-sur de Chile. *Bosque* 12(2):11-27
- Tacón A, A Lazo, B Ramírez, CL de la Maza, C Cunazza, C Zamorano, D Álvarez, D Flores, E Nuñez, G Michea, H Torres, I Benoit, J Rovira, J Oltremari, M Stutzin, P Araya, R López. 2007. Informe Chileno al segundo congreso latinoamericano de parques nacionales y otras áreas protegidas. Santiago, Chile. IUCN. 118 p.
- Theobald D. 2006. Exploring the functional connectivity of landscapes using landscape networks. In Crooks K, M Sanjayan eds. *Connectivity Conservation*. New York, USA. Cambridge University Press. p. 416-443
- Tomaselli R. 1981. The longitudinal zoning of vegetation in the southern sector of the andes. *Acta biológica* 58: 471-484
- Turner M. 1989. Landscape ecology: The effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20 :171-197
- Turner M, R Gardner, R O'Neill. 2001. *Landscape ecology*. New York, USA. Springer-Verlag. 401 p.
- Urban D, E Minor, E Treml, R Schick. 2009. Graph models of habitat mosaics. *Ecology Letters* 12: 260-273
- Veblen TT, M Schelegel. 1982. Reseña ecológica de los bosques del sur de Chile. *Bosque* (4)2:73-115

- Veblen TT, D Ashton, F Schlegel. 1979. Tree regeneration strategies in a lowland nothofagus-dominated forest in south-central Chile. *Journal of Biogeography* 6(4):329-340
- Vitousek P, H Mooney, J Lubchenco, J Melillo. 1997. Human domination of Earth's Ecosystems. *Science* 277: 494-499
- Zipperer W. 1993. Deforestation patterns and their effects on forest patches. *Landscape Ecology* 8(3): 177-184

ANEXOS

Anexo 1: Ubicación geográfica y fecha de adquisición de imágenes ASTER.

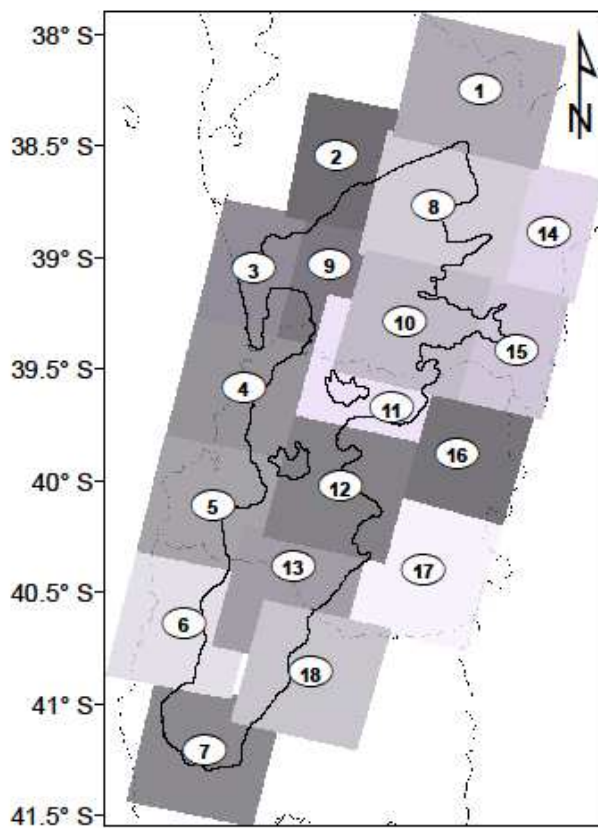




Imagen	Fecha de adquisición (AA-MM-DD)
1	2009-08-12
2	2008-05-06
3	2007-10-03
4	2007-11-23
5	2009-09-07
6	2006-11-18
7	2005-12-01
8	2009-08-11
9	2008-05-06
10	2009-04-18
11	2005-09-21
12	2005-09-21
13	2007-05-06
14	2008-05-06
15	2008-04-25
16	2009-09-28
17	2009-09-07
18	2009-04-18

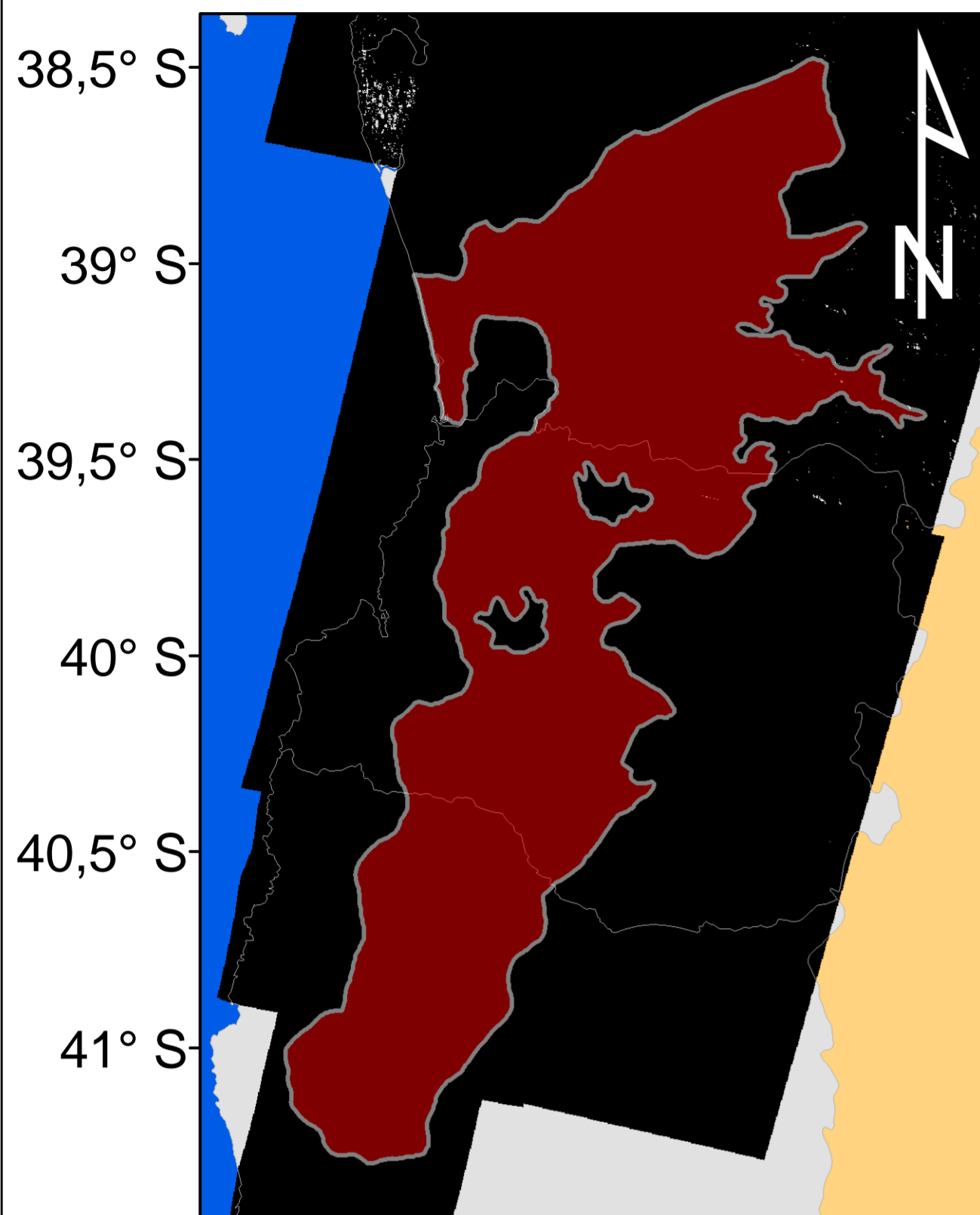
Anexo 2: Matriz de confusión para evaluar la exactitud cartográfica

Clasificación	Realidad							Total	Exactitud usuario (%)	Error de comisión (%)
	Bosque adulto	Bosque renoval	Matorral	Plantación forestal	Pradera o suelo desnudo	Infraestructura urbana	Cuerpo de agua			
Bosque	43	1	0	0	0	0	1	45	95,6	4,4
Bosque	7	36	9	3	4	0	1	60	60,0	40,0
Matorral	0	3	38	1	2	0	0	44	86,4	13,6
Plantación	0	1	0	45	0	0	0	46	97,8	2,2
Pradera	0	9	3	1	40	3	2	58	69,0	31,0
Infraestructur	0	0	0	0	4	47	0	51	92,2	7,8
Cuerpo de	0	0	0	0	0	0	46	46	100,0	0,0
Total	50	50	50	50	50	50	50	350		
Exactitud	86,0	72,0	76,0	90,0	80,0	94,0	92,0			
Error de	14,0	28,0	24,0	10,0	20,0	6,0	8,0			
Confiabilidad Global (%)	84,3									








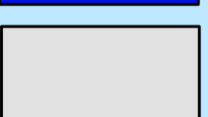

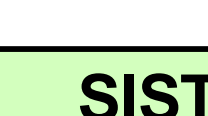
ANEXO 3: Cartografía del Bosque Caducifolio del Sur por tipo de cobertura de tierras

Ubicación geográfica

-  Imágenes clasificadas
-  Bosque Caducifolio del Sur (BCS)

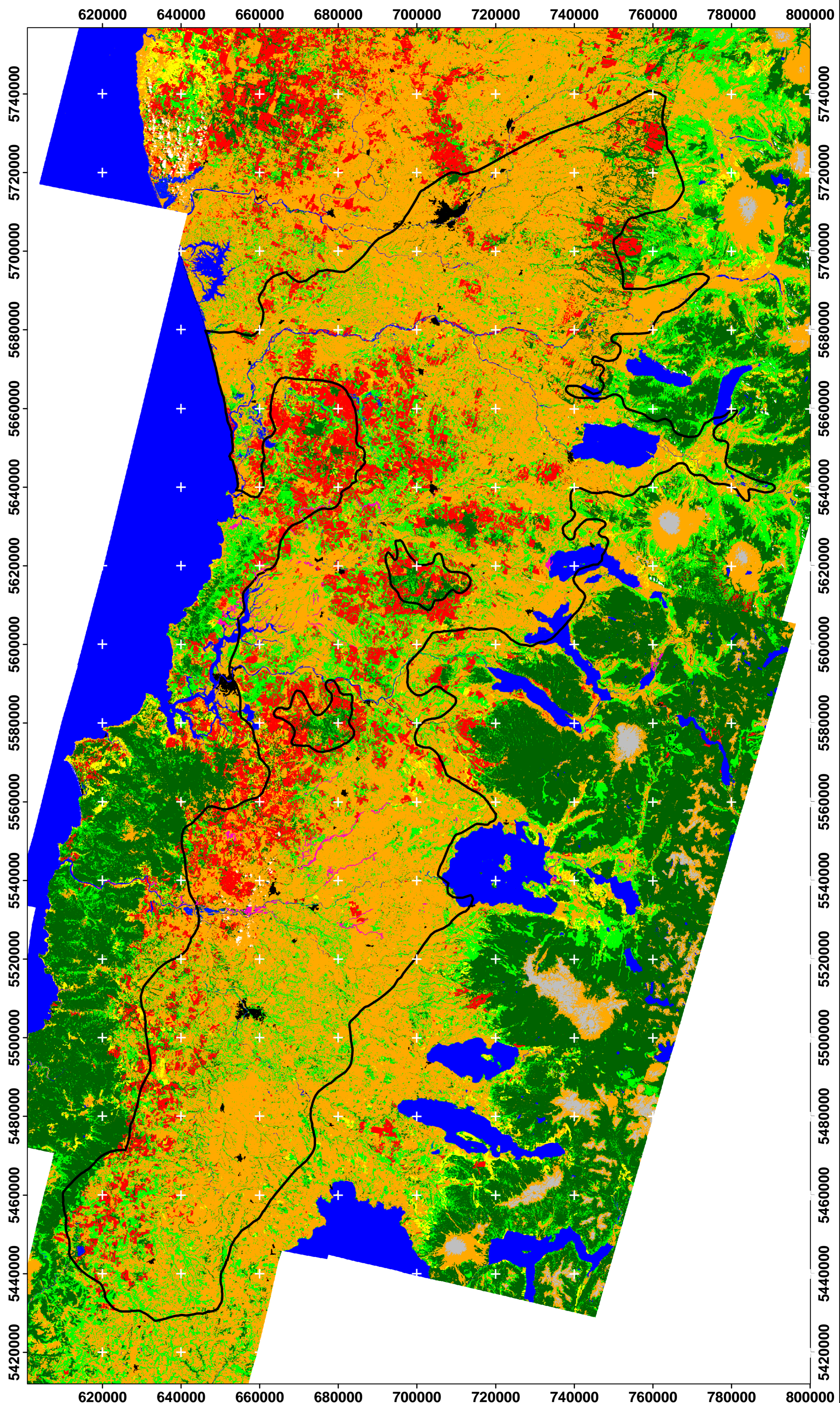


Coberturas de tierra

-  Bosque pantanoso *
-  Bosque nativo renoval
-  Bosque nativo adulto
-  Plantaciones forestales
-  Praderas o suelo desnudo
-  Matorrales
-  Infraestructura urbana
-  Cuerpos de agua
-  Nieve
-  Nubes

SISTEMA DE REFERENCIA

Proyección: Universal Transversal Mercator (UTM)
 DATUM : WGS 1984
 HUSO: 18 Sur



0 12,5 25 50 75 100

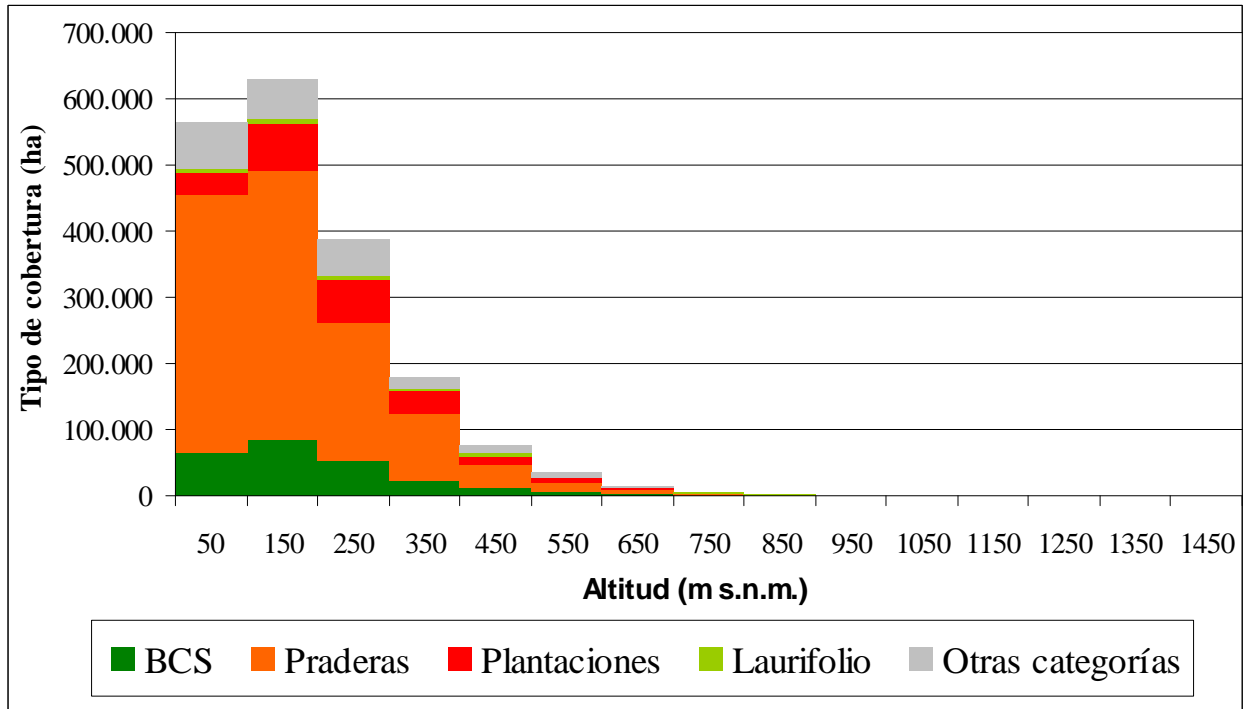
 Kilometros

1:550.000

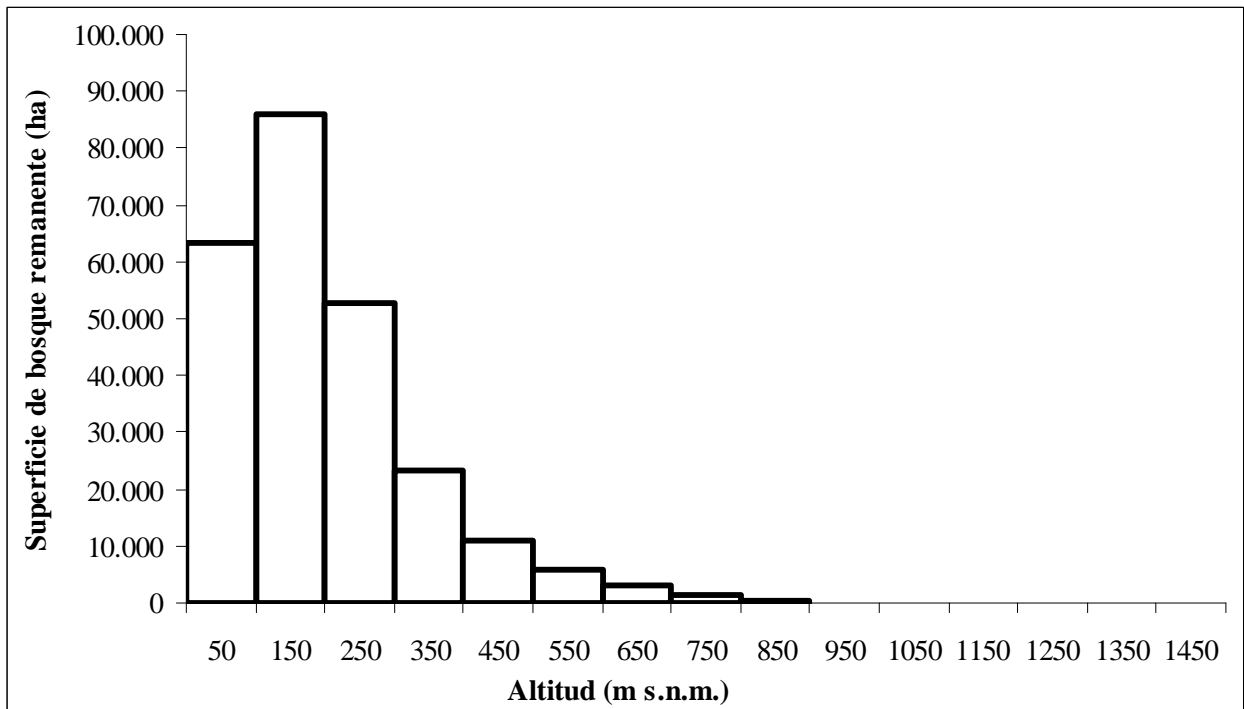
* Elaborado por Larraín (2011)

Anexo 4: Distribución altitudinal por tipo de cobertura de tierras en el paisaje del Bosque Caducifolio del Sur. A. Distribución altitudinal de los tipos de cobertura dominantes. B. distribución altitudinal del bosque remanente.

A.



B.



Anexo 5: Áreas protegidas desglosadas por tipo de cobertura de tierras.

Tipo de Área Protegida	Nombre del predio	Superficie por tipo de cobertura (ha)								
		BCS	Laurifolio	Hualves	Bosque nativo total	Praderas	Plantaciones forestales	Matorrales	Cuerpos de agua	Superficie total por predio
ASPP	Abeucapi	251	0	0	251	914	36	6	1	1118
ASPP	Biodiversidad Caunahue	172	4	0	175	921	0	1	0	1097
ASPP	Bosque de Quilín	25	0	0	26	69	10	8	2	116
ASPP	Cabaña San Pedro	6	0	0	6	4	0	0	0	10
ASPP	Cochinco	0	0	0	0	9	0	0	4	13
ASPP	Coñico	44	0	0	44	245	2	0	0	290
ASPP	Dollinco-Los Robles	0	0	0	0	10	0	0	0	12
ASPP	El Corte	20	0	0	20	11	15	0	0	46
ASPP	El Saltillo	0	0	0	0	40	0	0	0	40
ASPP	Flor del Lago	18	202	0	219	200	19	22	25	485
ASPP	Fundo Colo-Colo 1	45	0	0	45	82	0	0	0	136
ASPP	Fundo Colo-Colo 2	54	0	0	54	94	0	0	0	140
ASPP	Fundo Isla	134	0	21	156	189	2	2	5	353
ASPP	Fundo La Esperanza	0	51	0	52	31	0	0	0	83
ASPP	Fundo La Sombra	0	0	0	0	32	12	2	0	47
ASPP	Fundo Pichoy	0	0	2	2	15	0	0	0	17
ASPP	Fundo San Julian	0	24	0	24	35	0	0	0	58
ASPP	Hacienda Trinidad	279	0	0	279	621	62	0	0	963
ASPP	Hueyelhue	51	0	0	52	487	10	0	1	549
ASPP	Hueyelhue 2	106	0	0	106	1627	15	1	0	1748
ASPP	Huijuela 6	84	0	0	84	56	96	57	0	293
ASPP	Kukeñe	20	0	0	20	260	0	0	1	281
ASPP	La Rana	0	57	0	57	0	0	0	0	58
ASPP	La Vega	18	0	0	21	13	0	0	0	34
ASPP	Las Juntas	37	0	0	48	66	0	0	0	103
ASPP	Las Luces	2	0	0	3	7	0	8	0	18
ASPP	Las Vertientes	2	0	0	3	16	0	0	0	19
ASPP	Los Esteros	40	0	0	40	95	0	0	0	120
Bienes Nacionales	Llancahue	1117	0	0	1118	69	137	0	0	1325
ASPP	Melefquen	9	0	0	9	96	15	0	0	120
ASPP	Miradero	26	0	0	26	194	1	0	0	212
ASPP	Pampa Bonita	5	0	0	5	10	0	0	0	16

ASPP	Parcela 1 - Llahualco	24	0	0	24	96	0	0	0	120
ASPP	Parcela Anakena	24	0	0	24	13	12	6	0	55
ASPP	Parcela Cufeo	5	0	0	5	2	0	0	0	7
ASPP	Parcela Lipingue	118	0	0	119	98	0	0	0	229
ASPP	Parcela Pancul	58	0	0	58	35	0	0	0	94
ASPP	Parcela San Luis	0	0	0	0	5	0	0	4	9
ASPP	Pichares Alto	14	301	0	316	376	0	13	0	727
ASPP	Pilmaico-Huentelelfu	0	0	0	1	68	0	0	0	69
ASPP	Predio Huichahue	131	0	0	131	41	123	0	0	295
ASPP	Providencia Lote C	139	0	0	139	37	19	0	0	194
ASPP	Punta Curiñanco	79	0	0	79	14	0	0	0	93
ASPP	Puringue Rico	15	0	4	18	10	20	0	0	49
ASPP	Quilacahuin	50	0	0	50	482	7	0	0	526
ASPP	Quita Calzón	82	0	0	82	53	68	0	0	203
SNASPE	Reserva nacional Villarica	0	1521	0	1521	70	7	18	0	1643
Bienes Nacionales	Rucamanque	408	0	0	409	7	10	4	0	430
ASPP	Santa Ana Los Ulmos	148	0	0	148	17	0	10	0	175
ASPP	Santa Elvira	27	0	0	27	5	7	0	0	39
ASPP	Santa Marta	46	0	0	47	198	4	1	0	250
ASPP	Toro de Agua	13	0	0	13	6	1	0	0	19
ASPP	Vega Pupunahue	73	0	0	74	48	0	0	0	122
Superficie total por tipo de cobertura		3885	2160	27	6233	8196	711	159	44	

Anexo 6: Superficie total y protegida del Bosque Caducifolio del Sur remanente por comuna administrativa.

Comunas Administrativas	Superficie remanente (ha)	Remanente protegido (ha)	Protección (%)
Carahue	4,4	0	0
Corral	153,1	0	0
Cunco	7392,2	10,7	0,1
Curacautin	1560,3	0	0
Curarrehue	4,2	0	0
Freire	7901,8	0	0
Fresia	13697,5	0	0
Frutillar	4616,8	0	0
Futrono	2199,7	114,3	5,2
Gorbea	12316,7	0	0
La Unión	9592,7	0	0
Lago Ranco	340,4	12,7	3,7
Lanco	9369,9	0	0
Lautaro	2777,4	0	0
Loncoche	22005,3	0	0
Los Lagos	13278,6	393,3	3,0
Los Muermos	181,3	0	0
Llanquihue	1846,5	0	0
Mariquina	8900,1	16,7	0
Melipeuco	0,5	0	0
Máfil	10286,5	60,9	0,6
Nueva Imperial	848,5	0	0
Osorno	13742,5	192,9	1,4
Padre Las Casas	2424,4	0	0
Paillaco	10529,9	102,3	1,0
Panguipulli	5162,7	3,7	0,1
Pitrufquén	4644,9	0	0
Pucón	1202,1	3,2	0
Puerto Octay	880,2	0	0
Purranque	13170,5	68,1	0,5
Puyehue	1395,0	0	0
Río Bueno	6084,5	1,8	0,0
Río Negro	9483,8	50,8	0,5
San Juan de la Costa	4358,4	238,4	5,5
San Pablo	5402,4	63,3	1,2
Temuco	1366,6	396,5	29,0
Teodoro Schmidt	4079,3	0	0
Toltén	5613,4	0	0
Valdivia	10792,1	1458,9	13,5
Vilcún	7298,4	17,5	0,2
Villarrica	9962,2	6,5	0,1