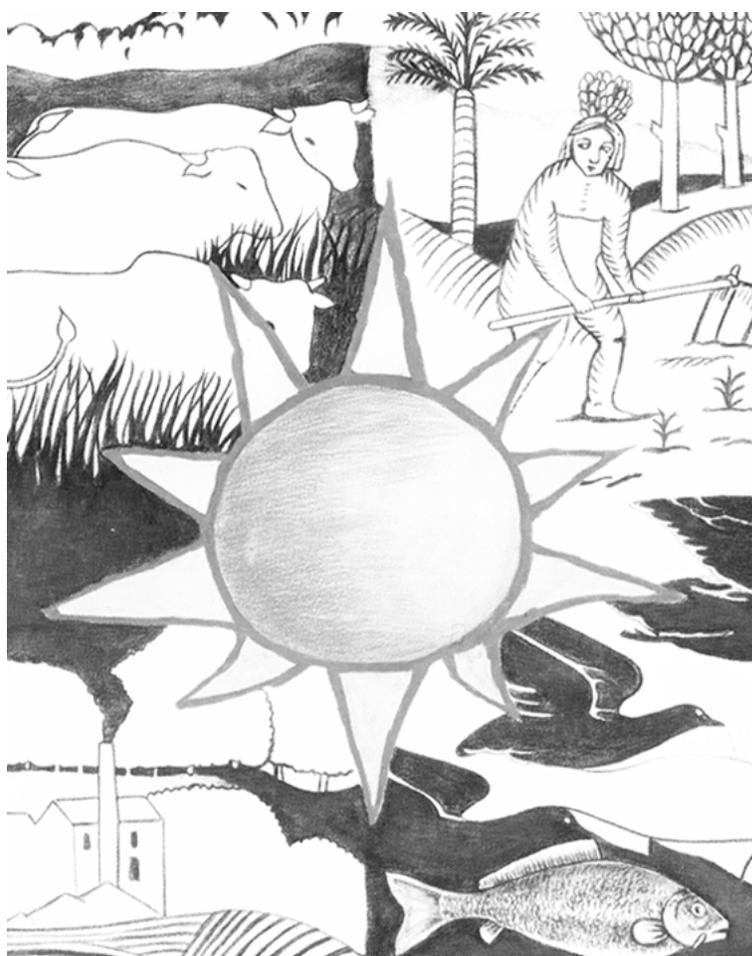


## **ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DE UN PAISAJE FORESTAL DEL SUR DE CHILE**

Structure and organization analysis of a forestry landscape in southern Chile

*Gonzalo Rebolledo<sup>1</sup> & Jaime R. Rau<sup>2,3</sup>*



<sup>1</sup>Laboratorio de Planificación Territorial, Escuela de Ciencias Ambientales, Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco, Casilla 15-D, Temuco, Chile. Correo electrónico: grebolle@uctemuco.cl <sup>2</sup>Laboratorio de Ecología, Depto. de Ciencias Básicas & Programa IBAM, Universidad de Los Lagos, Casilla 933, Campus Osorno, Osorno, Chile, y <sup>3</sup>Centro de Estudios Agrarios y Ambientales, Casilla 164, Valdivia, Chile.

*Gestión Ambiental (Valdivia)*. ISSN 0718-445X versión en línea, ISSN 0717-4918 versión impresa.

### **RESUMEN**

Se analizan la estructura y organización de un paisaje forestal del sur de Chile aplicando métricas e índices cuantitativos que describen los patrones espaciales, su dinámica de fragmentación y sus implicancias para el manejo. También se comparan distintas métricas y su aplicación en dos modelos de datos diferentes: formato raster y vectorial utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se realizó un análisis comparativo de la cobertura del suelo para tres horizontes temporales: 1986, 1994 y 2003; incluyendo métricas de área, forma, diversidad y vecindad. Se determinó una pérdida de un 18% del uso del suelo correspondiente a praderas y un aumento concomitante del 9% correspondiente a plantaciones forestales. A su vez, la tasa anual de fragmentación se estimó en un 2,9% y afectó principalmente a bosques de segundo crecimiento nativos. Se determinó que la resolución espacial más apropiada para este estudio fue de 6\*6 m y una escala de 1: 20.000.

Palabras clave: Dinámica de fragmentación, métricas del paisaje, pérdida de hábitat, plantaciones forestales, SIG

### **ABSTRACT**

We analyze the structure and organization of a forest landscape in southern Chile using quantitative metrics and indices that describe the spatial patterns, dynamics of fragmentation and its implications for management. We also compare different metrics and their application in two different data models: raster and vector formats using a GIS approach. We performed a comparative analysis of land cover for three time horizons: 1986, 1994 and 2003, including metrics of area, shape, diversity and neighborhood. We determined an 18% loss of land use for pasture and an increase of 9% for forest plantations. In turn, the annual rate of fragmentation was estimated at 2.9% which mainly affected second growth native forest. Moreover, the spatial resolution most appropriate for this study was that of a pixel of 6 x 6 m and a scale of 1: 20,000.

Key words: Forestry timber, fragmentation dynamics, habitat loss, landscape metrics, GIS.

## INTRODUCCIÓN

El paisaje, entendido como un recurso y como un territorio de características heterogéneas, compuesto por un mosaico de ecosistemas interactuantes que se repiten de forma similar a través de él (Forman & Gordon 1986, LEP-UMASS 2002), resulta en la percepción por el hombre de un fenosistema, o conjunto de relaciones ecológicas. Debido a esto, el paisaje es un buen indicador de la calidad ambiental, convirtiéndose en un objeto importante de análisis, tanto en ecología como en otras ciencias vinculadas al estudio y gestión del territorio, por lo que es utilizado en la base metodológica de la Planificación y Ordenamiento del Territorio y en otras herramientas (e.g., Evaluación de Impactos Ambientales), utilizadas en el análisis y comprensión del medio ambiente en los estudios de línea de base que fundamentan las decisiones para el manejo, la conservación y la planificación del uso de un territorio.

Los análisis realizados a escala del paisaje, en busca del reconocimiento de patrones y características espaciales, desde enfoques estáticos o dinámicos, desde un punto de vista descriptivo primero y relacional luego, basado en su heterogeneidad espacial que determina la disponibilidad de recursos y hábitat para especies vegetales y animales, está focalizado en cinco temas centrales (LEP-UMASS 2003, Forman 1995): (a) la detección de patrones desde análisis cuantitativos (Forman & Gordon 1986, O'Neill et al. 1988, Burel & Baudry 2002), (b) la identificación de los elementos y procesos que determinan un patrón, (c) la implicancia ecológica de estos patrones (Saunders et al. 1991, Wiens et al. 1993), (d) la detección de cambios en patrones y procesos a nivel espacial y temporal (Torrejón & Cisternas 2002) y (e) el manejo de los recursos naturales (Soriguer et al. 2002).

Actualmente, existen innumerables ejemplos de la aplicación de estos enfoques analíticos para el estudio del paisaje y de la relación existente entre la cuantificación de los patrones espaciales y los procesos ecológicos, especialmente en ambientes fragmentados (e.g., Saunders et al. 1991, Bissonette 1997, Estades & Temple 1999, Grez et al. 1998, Rau & Gantz 2001, Peña-Cortés et al. 2006).

El presente estudio pretende analizar la estructura y organización de un paisaje forestal del sur de Chile, correspondiente a tres predios de producción maderera, aplicando métricas e índices cuantitativos que describen los patrones espaciales, su evolución en el tiempo y sus implicaciones para el manejo. Un segundo objetivo es comparar distintas métricas y su aplicación en dos modelos de datos diferentes: formatos raster y vectorial, utilizando una variedad de herramientas de análisis basadas en los SIG.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Área de estudio*

El área de estudio (Fig. 1) corresponde al emplazamiento de tres predios de la Empresa Forestal Anchile: Los Riscos, Sajonia y Puquitrhue. Estos predios comprenden una superficie total, en conjunto, de 4.018 ha, aproximadamente. El área se ubica geográficamente entre los 40°49'19" lat S y 73°33'01" long O y los 40°55'13" lat S y 73°25'19" long O a unos 65 km al suroeste de la ciudad de Osorno. Administrativamente pertenece a la comuna de Purranque, presentado una buena red de accesibilidad dada por carpeta de ripio.

El sitio se encuentra emplazado en la zona de interfase de la depresión central con la

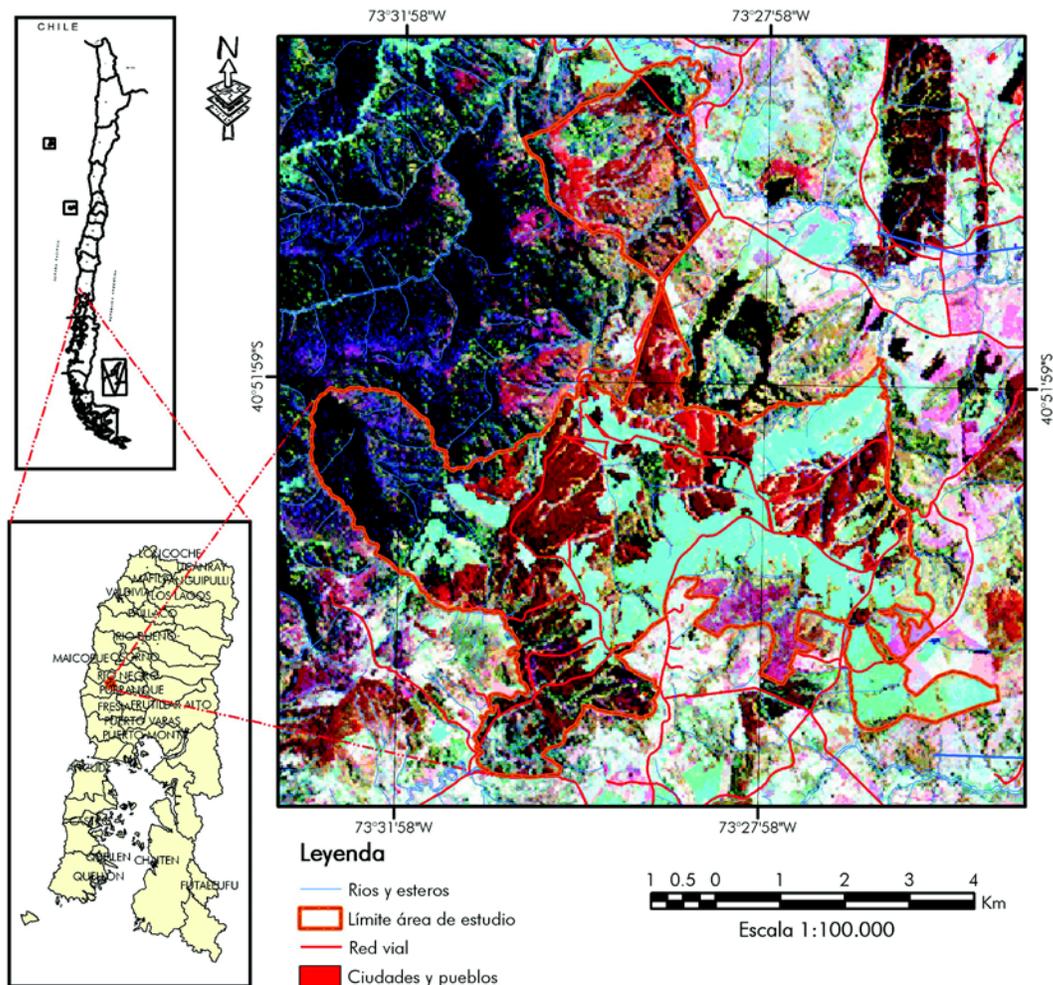


FIGURA 1. MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EN BASE A UNA IMAGEN DEL SATÉLITE LANDSAT 7ETM+ DE 2000 (RGB 452).

Study area map based on a satellite photography LANDSAT 7ETM+ of year 2,000 (RGB 452).

cordillera de la costa, de relieve fuertemente ondulado, con altitudes que van de los 100 m.s.n.m. a los 700 m.s.n.m. El uso actual del suelo corresponde a bosque nativo en distintos estadios sucesionales en un paisaje dominado

principalmente por el cultivo de *Eucaliptus* spp., con una superficie aproximada de 2.500 ha. El bosque nativo adulto representa el 13,2% (Rodas-Trejo et al. 2010).

*Metodología*

Fuentes de información y procesamiento. Se utilizaron diversas fuentes de información de bases de datos geográficas; por una parte, el Catastro de Recursos Vegetacionales de Chile (CONAF-CONAMA-BIRF 1994), cartografía de la propia empresa Forestal Anchile, actualizada al año 2003, y cartografía general de la Décima Región de fuente SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental, CONAMA). Se dispuso de imágenes satelitales LANDSAT 5TM y LANDSAT 7ETM+ para los años 1986 y 2000; para la

clasificación la composición utilizada correspondió a la composición RGB 452 en falso color.

Se realizó la homogenización y reclasificación de las coberturas vegetacionales disponibles a fin de obtener un mínimo de clases de parches representativo. Se trabajó en base a la fuente de CONAF-CONAMA y Anchile, con una unidad mínima cartografiada de 1 ha. Se utilizaron las categorías como clases para representar la heterogeneidad del paisaje que se describen en la Tabla 1.

Clase	Descripción
Bosque nativo adulto.	Bosques de antiguo crecimiento reconocidos en las fuentes como nativo adulto denso y semidenso puro, bosque nativo virgen, bosque nativo siempre verde, y los respectivos cruces entre estos y otras categorías en la homologación.
Bosque mixto.	Bosques con heterogeneidad de estadios sucesionales en fragmentos de tamaños menores a 2 ha, contenidos en fragmentos mayores, categorías de bosque nativo – renewal, renovales, etc
Renoval.	Renovales, matorrales arborescentes y matorral – renewal
Plantación.	Plantaciones de pino y eucalipto mayores a 4 años
Plantación reciente o cosecha.	Plantaciones de pino y eucalipto de 3 años o menos y áreas de roce.
Praderas.	Praderas, rotación cultivo pradera, pradera-matorral
Vegas.	Áreas de ñadis principalmente

**TABLA 1. DESCRIPCIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LAS CLASES DEL PAISAJE UTILIZADA PARA LOS TRES HORIZONTES TEMPORALES DE ACUERDO A LAS FUENTES DISPONIBLES.**

Description of the standarization and categorization of landscape classes used for the three temporal horizons according the available information.

Los temas generados fueron analizados con estadísticas espaciales, utilizando software SIG. Se utilizó Fragstat v3.3 (desarrollado por el Landscape Ecology Program, University of Massachusetts Amherst, 1994), desarrollado para el análisis de patrones espaciales en formato Raster; Patch Analyst v3.0 (Desarrollado por el Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Lakehead University, Ontario); Script de ArcView 3.2<sup>a</sup>, desarrollado para el análisis espacial de parches y el modelamiento de sus atributos, analiza datos en modelo vectorial y raster, requiere de la extensión Spatial Analyst e incluye un motor de Fragstats para las métricas del paisaje; Texture Analysis and Neighborhood Statistics (Desarrollado por Thorsten Behrens); Script para Arcview 3.2a, incluye cálculo de riqueza relativa e índice de fragmentación, en base a modelo raster, con kernel (ventana o núcleo de análisis) de análisis variable; vLATE-Vector Based Landscape Analysis Tools Extension (Desarrollado por la Universidad de Salzburgo, Austria, en el marco del proyecto SPIN-Spatial Indicators for European Nature Conservation), para ArcView 8.x para el análisis de métricas y patrones espaciales con modelo vectorial de datos.

Los análisis de las métricas de los paisajes fueron realizados, con fines comparativos, tanto en formato raster como vectorial. El modelo de datos vectorial consiste en la representación de las formas espaciales en puntos, líneas y polígonos, en base a vectores (nodos, líneas). Este modelo permite manejar grandes volúmenes de información y su principal aplicación se encuentra en la representación de patrones y fenómenos discretos (Fallas 1998).

El modelo de datos raster, está basado en una grilla de píxeles de tamaño establecido (véase más adelante), donde los elementos puntuales, lineales y poligonales son referidos

a la unidad de píxel. Este formato es de menor resolución espacial que el primero y permite el modelamiento de fenómenos continuos y gradientes (Fallas 1998).

Considerando la resolución espacial de las fuentes de información, se procedió a contrastar tres modelos raster con distinto tamaño de píxel, el primero a 6\*6 m, apropiado para escalas 1:20.000; el segundo a 15\*15 m, apropiado para la escala 1:50.000 del catastro del bosque nativo; y el tercero a 25\*25 m, de menor resolución, apropiado para escalas 1:80.000, aproximadamente.

En este contexto cabe señalar que las herramientas vectoriales presentan mayor precisión en términos espaciales para datos categóricos. Pero a su vez, muchos cálculos de estadísticas y métricas más complejos sólo existen en los software para modelos de datos en formato raster.

Métricas del paisaje utilizadas. La categorización de los patrones espaciales se dividió en métricas de área, métricas de forma, métricas de borde, análisis de proximidad, análisis de áreas núcleo y análisis de diversidad (Tabla 2). Las métricas fueron aplicadas a nivel de parche (unidad espacial básica discreta, polígono), clase (categoría tipológica, característica clasificable) y la totalidad del paisaje según pertinencia (Mandelbrot 1984, Forman & Gordon 1986, O'Neill et al. 1988, Gustafson & Parker 1992, McGarigal & Marks 1995, Gustafson 1998, Rau & Gantz 2000, LEP-UMASS 2002, McGarigal 2002, Peña-Cortés et al. 2006).

Análisis de la variación temporal en los patrones del paisaje. De la homologación de bases de datos se obtuvo una carta de topología de polígonos para la cobertura del suelo, donde los polígonos pertenecen a una de las siete clases evaluadas. Por lo tanto, se dispone de capas vectoriales formato ESRI-Shape: una para el año 1986 (en base a la imagen LANDSAT 5TM), una para el año 1994 (en

*Ecología de un paisaje forestal*

Nivel	Acrónimo	Métrica	Fórmula	Descripción
<b>Métricas de área</b>				
P	AREA / PS	Área (ha)	$AREA = a_{ij} \left( \frac{1}{10,000} \right)$	$a_{ij}$ = área (m <sup>2</sup> ) del parche ij.
C	CA	Área de la clase (ha)	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left( \frac{1}{10,000} \right)$	$a_{ij}$ = área (m <sup>2</sup> ) del parche ij Sumatoria del área de todos los parches de una clase en hectáreas
C	PLAND	Porcentaje del área total del paisaje (%)	$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$	$a_{ij}$ = área (m <sup>2</sup> ) del parche ij A= área total del paisaje
C/L	TA	Área total del paisaje (ha)	$TA = A \left( \frac{1}{10,000} \right)$	A= área total del paisaje
<b>Métricas de densidad, tamaño y variabilidad</b>				
C	NP	Número de parches de la clase	$NP = n_i$	$n_i$ = número de parches de la clase i en el paisaje.
C/L	PD	Densidad de parches (#/100 ha)	$PD = \frac{n_i}{A} (10,000)(100)$	$n_i$ = número de parches de la clase i en el paisaje. A = área total del paisaje (m <sup>2</sup> ). Expresa la densidad de los parches de la clase i, en 100 ha de paisaje
C/L	MPS	Media del tamaño de los parches (ha)	$MN = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i}$	$x_{ij}$ = PS del parche j de la clase i $n_i$ = número de parches de la clase i
C/L	PSSD	Desviación estándar del tamaño de los parches (ha)	$SD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left[ x_{ij} - \left( \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i} \right) \right]^2}{n_i}}$	$x_{ij}$ = PS del parche j de la clase i $n_i$ = número de parches de la clase i
C/L	PSCoV	Coficiente de variación del tamaño de los parches (%)	$CV = \frac{SD}{MN} (100)$	
<b>Métricas de borde</b>				
P	PERIM	Perímetro del parche (m)		
C/L	TE	Total de borde (m)	$TE = \sum_{k=1}^m e_{ik}$	$e_{ik}$ = Longitud de borde del parche k de la clase i, o, de todos los bordes de todas las clases del paisaje
C/L	MPE	Media del borde para los parches de una clase (m)		
C/L	ED	Densidad de bordes (m/ha)	$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10,000)$	$e_{ik}$ = Longitud del borde del parche k de la clase i, o, de todos los bordes de todas las clases del paisaje A= área total del paisaje Longitud de bordes de una clase en el área de estudio estandarizado por ha.

**TABLA 2. DESCRIPCIÓN DE LAS MÉTRICAS E ÍNDICES DEL PAISAJE UTILIZADOS EN EL ESTUDIO, ORDENADAS DE ACUERDO AL TIPO DE CARACTERÍSTICA EVALUADA. P=Parche, C= Clase, L= Paisaje. Se utiliza la nomenclatura empleada por McGarigal (2002).**

Description of metric and landscape indexes used in the study in order to the kind of the evaluated characteristic. it was used the nomenclature employed by McGarigal (2002).

Nivel	Acrónimo	Métrica	Fórmula	Descripción
Métricas de forma				
P	SHAPE	Índice de forma	$SHAPE = \frac{P_{ij}}{\min p_{ij}}$	
P	PARA	Relación área - perímetro	$PARA = \frac{P_{ij}}{A_{ij}}$	$P_{ij}$ = perímetro del parche j de la clase i $A_{ij}$ = área del parche j de la clase i
P	FD	Dimensión fractal	$FRAC = \frac{2 \ln(0.25 p_{ij})}{\ln a_{ij}}$ $FD = \frac{2 \ln(p_{ij})}{\ln a_{ij}}$	$P_{ij}$ = perímetro del parche j de la clase i $A_{ij}$ = área del parche j de la clase i * El modelo raster incluye un factor de corrección= 0.25 del perímetro. Los valores van entre 1 para formas euclidianas y 2 para formas fractales. Se evalúa la dimensión fractal discreta de cada parche de la clase i
C/L	MSI	Índice de forma promedio		Promedio de SHAPE, para todos los parches de la clase i.
C/L	MPAR	Relación área - perímetro promedio		Promedio de PARA, para todos los parches de la clase i.
C/L	MPFD	Dimensión fractal promedio		Promedio de FD, para todos los parches de la clase i.
Métricas de vecindad				
P	NEAR	Distancia al vecino más cercano (m)		Distancia al parche de la misma clase más cercano
P	PROX	Índice de proximidad	$PROX = \sum_{g=1}^n \frac{a_{ijg}}{h_{ijg}^2}$	$A_{ijg}$ = área de un parche específico dentro de la distancia de vecindad del parche ij $H_{ijg}$ = distancia entre el parche vecino y el parche ij en metros de borde a borde Valor $\geq 0$ , crece en la medida que los parches vecinos son de la misma clase
C/L	MNN	Promedio de distancia al vecino más cercano (m)		Promedio de las distancias mínimas entre parches de una misma clase
C/L	MPI	Promedio para el índice de proximidad		Promedio del índice de proximidad para todos los parches de la clase i
Métricas de interdispersión y contagio				
C/L	IJI	Índice de interdispersión y juxtaposición	$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^m \left[ \left( \frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \ln \left( \frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m-1)}$ (100)	$e_{ik}$ = Longitud del borde del parche k de la clase i, o, de todos los bordes de todas las clases del paisaje m= número de clases en el paisaje

TABLA 2. DESCRIPCIÓN DE LAS MÉTRICAS E ÍNDICES DEL PAISAJE UTILIZADOS EN EL ESTUDIO, ORDENADAS DE ACUERDO AL TIPO DE CARACTERÍSTICA EVALUADA. P=Parche, C= Clase, L= Paisaje. Se utiliza la nomenclatura empleada por McGarigal (2002). *Continuación.*

Description of metric and landscape indexes used in the study in order to the kind of the evaluated characteristic. it was used the nomenclature employed by McGarigal (2002).

Nivel	Acrónimo	Métrica	Fórmula	Descripción
Métricas de diversidad				
L	SDI	Índice de diversidad Shannon		<p><math>P_i</math> = proporción del paisaje ocupado por diversidad de la clase <math>i</math>, sin límite.</p> <p>Será igual a cero cuando una categoría ocupe todo el espacio y aumentará en la medida que aumente la riqueza de clases y la equidad</p>
L	SEI	Índice de equitatividad de Shannon	$SHEI = \frac{-\sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)}{\ln m}$	<p><math>P_i</math> = proporción del paisaje ocupado por la clase <math>i</math>.</p> <p><math>m</math>= número total de clases en el paisaje.</p> <p>Será igual a cero cuando una categoría ocupe todo el espacio y aumentará en la medida que aumente la equitatividad, hasta uno, cuando todas las clases se encuentren en la misma proporción.</p>

TABLA 2. DESCRIPCIÓN DE LAS MÉTRICAS E ÍNDICES DEL PAISAJE UTILIZADOS EN EL ESTUDIO, ORDENADAS DE ACUERDO AL TIPO DE CARACTERÍSTICA EVALUADA. P=Parque, C= Clase, L= Paisaje. Se utiliza la nomenclatura empleada por McGarigal (2002). *Continuación.*

$$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$$

Description of metric and landscape indexes used in the study in order to the kind of the evaluated characteristic. it was used the nomenclature employed by McGarigal (2002).

base al Catastro del Bosque Nativo -la publicación de los datos corresponde a 1999 pero las fotografías para el levantamiento son, en su mayoría, de 1994-); y finalmente una tercera capa de 2003 (Cartografía de Rodales, proporcionada por forestal Anchile).

Se realizó un análisis comparativo de patrones y estructura a partir de la información categórica de uso/cobertura de suelo, para los tres horizontes temporales (1986, 1994, 2003), incluyendo métricas de área total, forma, diversidad y vecindad para cada una de las siete clases mencionadas en la Tabla 1 y su representación porcentual. Además, se consideró el número de parches de cada clase.

La evaluación del grado de cambio de las clases del paisaje, fue realizada utilizando el modelo propuesto por CORINE Land Cover,

de la Comunidad Europea, que evalúa la tasa de cambio promedio anual de la superficie de una clase para un periodo de tiempo:

$$TCC = \frac{[\ln(A_1) - \ln(A_0)] * 100}{(t_1 - t_0)}$$

Donde:

TCC = es la tasa de cambio promedio anual para el periodo evaluado.

$A_1$  = superficie total de la clase en el paisaje en el tiempo 1.

$A_0$  = superficie total de la clase en el paisaje en el tiempo 0.

$(t_1 - t_0)$  = diferencia de tiempo entre los dos periodos.

Para este análisis se reagruparon las clases en tres categorías: (1) Bosque nativo en términos generales, incluyendo las categorías

de bosque nativo adulto, nativo mixto (i.e., bosques de segundo crecimiento, con intervención y mezcla de especímenes adultos y renovals) y renoval. (2) Plantaciones, incluye plantaciones recientes, roces y adultas. (3) Praderas y otros, considerando praderas y vegas.

Indicadores de fragmentación de los ecosistemas. Se consideró la evaluación de la fragmentación en base al número de parches de cada clase (NP), el tamaño medio de los fragmentos (MPS), el coeficiente de variación promedio del tamaño de parches para cada clase (PSCoV), la distancia media al vecino más cercano de la misma clase (MNN), la dimensión fractal (FD), el índice de yuxtaposición e interdispersión (IJI) y la media del índice de proximidad (MPI). Debido a que las distribuciones de datos para estos índices no son normales o se desconocen, la variación fue evaluada utilizando pruebas estadísticas no paramétricas, Kruskal-Wallis (para análisis de varianza de una vía) y Friedman (para análisis de varianza de dos vías). Para los cálculos se utilizó el software Minitab 12.

Se incluye también una representación gráfica de un índice de fragmentación en base a un kernel o ventana de análisis de 25\*25 píxeles con Texture Analysis and Neighborhood Statistics para ArcView 3.2a. El modelo calcula la fragmentación en base al número de clases y píxeles de cada clase, dentro de la ventana o kernel de análisis.

## RESULTADOS

### *Comparación de modelos*

Utilizando el modelo vectorial, para el horizonte temporal de 2003, se construyeron los tres modelos raster, con resoluciones de 6\*6 m, 15\*15 m y 25\*25 m. En la Tabla 3, se observa

que el número de parches y la media de sus tamaños se ven afectados al variar la escala; considerando la generalización propia de convertir datos a vectoriales a raster, es esperable que exista variación, así también es esperable que el modelo de mayor resolución sea más cercano a la representación vectorial. En este caso la diversidad no se ve afectada por la variación en la escala, pero sí las métricas de forma, entre las cuales la que menos varía es la dimensión fractal. Por su parte, las métricas de proximidad varían en especial el índice de proximidad siendo más bajo en la medida que se disminuye la resolución; 3.342,3, para el modelo de 6\*6 m a 631,5, para el modelo de 25\*25 m. De estos resultados para una escala estandarizada, se ratifica que la selección de la escala es un tema crítico y condicionado a las fuentes de información. Para el caso del presente estudio la resolución espacial más apropiada fue la de un píxel de 6\*6 m y una escala de 1:20.000.

### *Cobertura y uso del suelo*

Se presentan los resultados generales a nivel del paisaje para las siete clases homologadas en los tres horizontes de tiempo estudiados. En la Fig. 2 se puede observar la evolución en el uso del suelo a partir del cambio en las coberturas de vegetación. Actualmente, se puede apreciar una importante conversión de tierras dedicadas a antiguas actividades agropecuarias (praderas, principalmente) a plantaciones forestales. Esto último ratificado por las tasas de conversión anual promedio calculadas para los periodos comprendidos entre cada evaluación. De acuerdo a lo presentado en las Tablas 4 y 5, se puede observar una variación promedio para el periodo de estudio de 17,5% anual de pérdida de praderas y 8,9 % anual de incremento en superficie forestada. Además, se observa

Métrica	Vectorial	Raster		
		6*6 m	15*15 m	25*25 m
TLA	4.017,07	4.016,85	4.017,22	4.018,00
NumP	177,00	202,00	260,00	282,00
MPS	22,70	19,89	15,45	14,25
PSCOV	239,79	252,21	331,11	387,37
PSSD	54,42	50,15	51,16	55,19
TE	688.475,01	422.256,00	410.190,00	436.050,00
ED	171,39	105,12	102,11	108,52
MPE	3.889,69	**	**	**
MSI	2,48	2,55	2,20	2,00
MPAR	350,57	**	**	**
MPFD	1,37	1,15	1,13	1,11
AWMPFD	1,37	1,19	1,19	1,19
MNN	292,96	142,40	107,40	102,30
MPI	**	3.342,25	1.018,44	631,53
IJI	**	63,19	63,29	63,38
SDI	1,52	1,48	1,48	1,48
SEI	0,78	0,76	0,76	0,76

TABLA 3. COMPARACIÓN DE LAS MÉTRICAS DEL PAISAJE PARA LOS TRES MODELOS RASTER UTILIZADOS EN RELACIÓN AL MODELO VECTORIAL. TLA= Área total, NumP= Número de parches, MPS= Media del tamaño de los parches, PSCoV= Covariancia del tamaño de parches, PSSD= Desv. estándar del tamaño de parches, TE= Total de bordes, ED= Densidad de bordes, MSI= Media del índice de forma, MPAR= Media de la razón perímetro/área, MPFD= Media de la dimensión fractal de los parches, AWMPFD= Media de la dimensión fractal de los parches estandarizada por el área, MNN= Media del vecino más cercano, MPI= Media del índice de proximidad, IJI= Índice de yuxtaposición e interdispersión, SDI= Índice de diversidad de Shannon, SEI= Índice de equitatividad de Shannon. \*\* Métrica no calculada para el modelo de datos

Comparison of the landscape metrics for the three raster models used in relation to the vectorial model.

pérdida de la superficie de bosque nativo (Fig. 2), principalmente asociada a renovales, para el caso de las categorías establecidas, pero que según el Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (CONAF-CONAMA-BIRF 1999), corresponde principalmente a categorías de matorral arborescente y renoval abierto. No obstante, queda clara la pérdida de superficie de bosque nativo, junto con el aumento de la fragmentación (Tablas 4 y 5) a una tasa

promedio de 2,9%, pasando de un total de 2.411,2 ha en 1986 a 1.466,6 ha en 2004.

#### *Variación en los patrones espaciales*

Se reconoce entonces una importante variación en la estructura del paisaje, dada por los cambios progresivos en el uso del suelo. Ahora bien, ¿Qué significa este cambio en términos de los patrones espaciales o, en

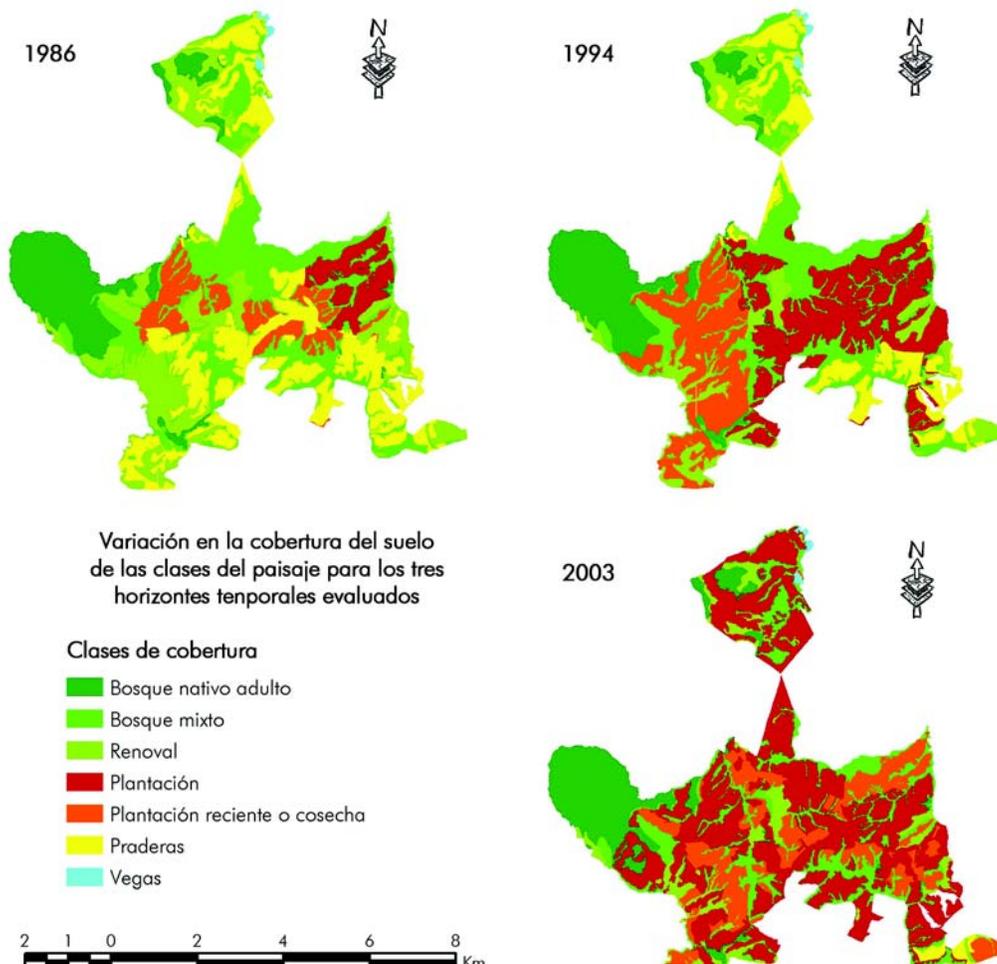


FIGURA 2. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA COBERTURA DE SUELO ENTRE LOS TRES HORIZONTES TEMPORALES UTILIZADOS PARA EL ESTUDIO (1986, 1994, 2003).

Spatial variation in the land cover between the three temporal horizons used for the study (1986, 1994, 2003).

términos de hábitat de bosque, por ejemplo, o en términos del paisaje en general? De los resultados obtenidos, se puede decir que existe una variación a escala del paisaje global en el número de parches: 138 en 1986, 146 en 1994 y 177 en 2003 (Tabla 6). A su vez, la media de los tamaños de las clases del paisaje disminuyó

de un periodo a otro  $29,1 \pm 60,1$  en 1986;  $27,7 \pm 81,1$  en 1994 y  $22,7 \pm 54,4$  en 2003 (Tabla 6). Aparentemente, algunos patrones espaciales generados no se ven modificados fácilmente lo que queda corroborado al analizar las métricas de forma en cada tiempo. Por ejemplo, la dimensión fractal ( $P = 0,494$  gl 2,

*Ecología de un paisaje forestal*

A	1986			1994			2003		
	Sup ha	%	NumP	Sup ha	%	NumP	Sup ha%	NumP	
Bosque nativo adulto	585,93	14,59	13	585,33	14,46	14	531,63	13,23	15
Bosque mixto	1.003,24	24,97	45	904,15	22,33	50	612,76	15,25	49
Renoval	822,03	20,46	29	530,21	13,10	28	322,25	8,02	36
Plantación	217,46	5,41	3	902,15	22,28	20	1.804,08	44,91	41
Plantación reciente/cosecha	351,09	8,74	13	634,78	15,68	6	697,83	17,37	31
Praderas	1.024,18	25,50	33	478,57	11,82	26	35,40	0,88	3
Vegas	13,13	0,33	2	13,13	0,32	2	13,13	0,33	2
<b>B</b>	<b>1986</b>			<b>1994</b>			<b>2003</b>		
	Sup ha	%	NumP	Sup ha	%	NumP	Sup ha	%	NumP
Bosque nativo adulto	586,94	14,61	17	585,00	14,56	18	531,62	13,23	22
Bosque mixto	1.002,50	24,95	124	905,12	22,53	121	613,75	15,28	135
Renoval	822,56	20,47	36	497,50	12,38	36	321,31	8,00	58
Plantación	217,38	5,41	2	901,25	22,43	18	1.801,44	44,83	36
Plantación reciente/cosecha	351,06	8,74	14	636,44	15,84	2	701,81	17,47	26
Praderas	1.024,81	25,50	33	480,00	11,95	23	35,38	0,88	3
Vegas	13,06	0,33	2	12,69	0,32	2	12,69	0,32	2

**TABLA 4. RELACIÓN EN EL CAMBIO DE LA COBERTURA DEL SUELO EN EL PAISAJE PARA LOS HORIZONTES DE TIEMPO UTILIZADOS EN EL ESTUDIO. «A» CORRESPONDE A LOS RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE UN MODELO DE DATOS VECTORIAL. «B» CORRESPONDE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA APLICACIÓN DE UN MODELO RASTER CON RESOLUCIÓN DE PÍXEL DE 25\*25 M. Sup ha: Superficie en hectáreas para cada clase, %: Porcentaje del total del área de estudio, NumP: Número de parches de la clase.**

Relation in the change of land cover in the landscape for the three temporal horizons used in the study. «V» means results obtained after the application of a vectorial model. «R» means results obtained after the application of a raster model with a 25\*25 m pixel resolution. Sup ha: Superficie en hectáreas para cada clase, %: Porcentaje del total del área de estudio, NumP: Número de parches de la clase.

	1986		1994		2003	
	Sup ha	Sup ha	TC1	Sup ha	TC2	MTC
Vegetación Nativa	2411,20	2019,69	-2,21	1466,63	-3,56	-2,89
Superficie Forestal	568,55	1536,93	12,43	2501,91	5,41	8,92
Praderas y Otros	1037,30	491,70	-9,33	48,53	-25,73	-17,53

**TABLA 5. TASA DE CAMBIO DE LAS CLASES DE COBERTURA DEL SUELO PARA EL PERIODO DE ESTUDIO, CON TRES CLASES GENERALES, EN BASE A LAS SIETE CLASES INICIALES. Sup ha: Superficie en hectáreas para cada clase; TC1= Tasa de cambio de la superficie entre 1986 y 1994, TC2= Tasa de cambio de la superficie para el periodo 1994 - 2003; MTC= Tasa de cambio promedio de la superficie para todo el periodo de estudio.**

Rate of change of soil cover classes for the study period with three general classes, based on seven initial classes. Sup ha: Superficie en hectáreas para cada clase; TC1= Tasa de cambio de la superficie entre 1986 y 1994, TC2= Tasa de cambio de la superficie para el periodo 1994 - 2003; MTC= Tasa de cambio promedio de la superficie para todo el periodo de estudio.

Métrica	1986		1994		2003	
	V	R	V	R	V	R
TLA	4.017,06	4.018,31	4.048,32	4.018,00	4.017,07	4.018,00
NUMP	138,00	228,00	146,00	220,00	177,00	282,00
MPS	29,11	17,62	27,73	18,26	22,70	14,25
PSCOV	206,33	286,72	292,36	395,77	239,79	387,37
PSSD	60,06	50,53	81,07	72,28	54,42	55,19
TE	594.599,45	371.625,00	616.553,94	380.300,00	688.475,01	436.050,00
ED	148,02	92,48	152,30	94,65	171,39	108,52
MPE	4.308,69	**	4.222,97	**	3.889,69	**
MSI	2,47	1,92	2,48	1,99	2,48	2,00
MPAR	474,03	**	483,94	**	350,57	**
MPFD	1,38	1,10	1,38	1,11	1,37	1,11
AWMPFD	1,36	1,17	1,37	1,19	1,37	1,19
MNN	171,39	73,10	188,49	97,00	292,96	102,30
MPI	**	521,21	**	324,77	**	631,53
IJI	**	68,33	**	71,77	**	63,38
SDI	1,59	1,69	1,68	1,77	1,52	1,48
SEI	0,81	0,87	0,86	0,91	0,78	0,76

TABLA 6. MÉTRICAS DEL PAISAJE UTILIZADAS COMO INDICADORES DE FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE PARA LOS TRES HORIZONTES TEMPORALES. «V» CORRESPONDE A LOS RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE UN MODELO DE DATOS VECTORIAL. «R» CORRESPONDE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA APLICACIÓN DE UN MODELO RASTER CON RESOLUCIÓN DE PÍXEL DE 25\*25 M. BNa: Bosque nativo adulto, BNm: Bosque mixto, BNr: Bosque nativo de renovales. TLA= Área total, NumP= Número de parches, MPS= Media del tamaño de los parches, PSCoV= Covariancia del tamaño de parches, PSSD= Desv. estándar del tamaño de parches, TE= Total de bordes, ED= Densidad de bordes, MSI= Media del índice de forma, MPAR= Media de la razón perímetro/área, MPFD= Media de la dimensión fractal de los parches, AWMPFD= Media de la dimensión fractal de los parches estandarizada por el área, MNN= Media del vecino más cercano, MPI= Media del índice de proximidad, IJI= Índice de yuxtaposición e interdispersión, SDI= Índice de diversidad de Shannon, SEI= Índice de equitatividad de Shannon. \*\* Métrica no calculada por el modelo de datos

Landscape metrics used as fragmentation indicators for three temporal horizons. «V» means results obtained after the application of a vectorial model. «R» means results obtained after the application of a raster model with a 25\*25 m pixel resolution. BNa: Bosque nativo adulto, BNm: Bosque mixto, BNr: Bosque nativo de renovales. TLA= Área total, NumP= Número de parches, MPS= Media del tamaño de los parches, PSCoV= Covariancia del tamaño de parches, PSSD= Desv. estándar del tamaño de parches, TE= Total de bordes, ED= Densidad de bordes, MSI= Media del índice de forma, MPAR= Media de la razón perímetro/área, MPFD= Media de la dimensión fractal de los parches, AWMPFD= Media de la dimensión fractal de los parches estandarizada por el área, MNN= Media del vecino más cercano, MPI= Media del índice de proximidad, IJI= Índice de yuxtaposición e interdispersión, SDI= Índice de diversidad de Shannon, SEI= Índice de equitatividad de Shannon.

$a_{0,05}$ ), la razón perímetro/área ( $P= 0,251$  gl 2,  $a_{0,05}$ ) y el índice de forma ( $P= 0,681$  gl 2,  $a_{0,05}$ ), no presentaron diferencias significativas de un año a otro (Tabla 6).

El índice de yuxtaposición e interdispersión presentó valores que variaron entre 63,4% y 71,8%. Según la definición del índice, su valor se acercará a 100 en la medida en que los

parches de una clase se interconecten con los parches de todas las otras clases. El valor más alto fue para el año 1994 donde, aparentemente a la vez, se encontraba la mayor diversidad. En términos generales, se entiende que existe un alto grado de superposición de todas las clases, producto de la conformación espacial. A su vez, para este año el índice de proximidad fue el más bajo y la diversidad y equitatividad fueron las más altas (Tabla 6).

Se puede apreciar una variación en la diversidad y equitatividad, con una disminución paulatina de la heterogeneidad espacial y un aumento de la dominancia de plantaciones en el contexto del paisaje. Eso sí, aparentemente el estado intermedio de 1994 presentó los valores más altos de diversidad y equitatividad. En la Fig. 2 se puede apreciar la relación espacial de las clases en los tres horizontes temporales y comprobar que efectivamente las clases se encontraron distribuidas de forma más equitativa. Hacia el 2003, el sistema de manejo y producción ha hecho que el destino forestal de la tierra aumente, con fuerte conversión de parches de pradera y renoval (Tabla 2).

Saliendo del contexto global, y dejando a la matriz de un lado, se puede comparar lo que ocurre a nivel del bosque nativo en los tres horizontes. En este caso, se aprecia que las clases de bosque nativo adulto y bosque mixto no han sido tan afectadas en su representación como los renovales, los cuales presentaron una variación importante en cuanto a número de parches (NumP 36, 36, 58) y tamaño promedio de parches (MPS 22,9; 13,8; 5,5), al igual que a nivel del paisaje, las métricas de forma variaron muy poco. En este caso resulta interesante la variación en el nivel de yuxtaposición, el bosque nativo adulto, con formas más euclidianas y relegado a extremos del predio, se encontró menos yuxtapuesto con las otras clases (Tabla 7). A su vez, el modelo espacial de fragmentación mostró la evolución

progresiva del proceso desde 1986 a 2003, marcado por la variación en el destino de la tierra (Fig. 3). En la medida que la producción y explotación de plantaciones forestales ha aumentado también el nivel de fragmentación en la zona ha aumentado concomitantemente, pero a su vez se han conservado patrones y elementos relevantes del paisaje.

## DISCUSIÓN

Se puede apreciar que para todas las métricas descritas el modelo vectorial y raster difieren, si bien el modelo vectorial permite aproximaciones más precisas a temas de forma y superficie (Fallas 1998), siempre dependiendo de la escala de las fuentes de información, muchas métricas de patrones espaciales sólo existen en formato raster, siendo *Fragstats* la herramienta más poderosa para realizar estos análisis (McGarigal & Marks 1994).

El tema de la escala resulta crítico (Levin 1992), por ejemplo si se compara el *NumP* de ambos modelos en cualquier horizonte (Tabla 3), se aprecia un aumento en la cantidad de parches evaluados al convertir los temas de ArcView (capas temáticas en Shapefile) en formato raster, lo que conlleva necesariamente una variación en las métricas. En estricto rigor, la resolución espacial va a estar condicionada por las fuentes cartográficas y por los objetivos del estudio, a fin de poder representar adecuadamente el fenómeno o patrón de estudio. Como dato, una imagen Landsat 7ETM+, con resolución de píxel de 30\*30 m para las bandas 1 a la 5 y la banda 7, permite trabajar a escala 1:100.000 y su banda pancromática con resolución de píxel de 15\*15 m permite trabajar al doble de la resolución, esto es a escala 1:50.000 (Burel & Baudry 2002). Considerando una relación lineal entre el tamaño del píxel y la resolución de la

Indice	Mod	1986			1994			2003		
		Bna	BNm	BNr	Bna	BNm	BNr	Bna	BNm	BNr
NUMP	R	17,0	124,0	36,0	18,0	121,0	36,0	22,0	135,0	58,0
	V	14,0	50,0	28,0	13,0	45,0	29,0	15,0	49,0	36,0
MPS	R	34,5	8,1	22,9	32,5	7,5	13,8	24,2	4,6	5,5
	V	41,8	18,1	18,9	45,1	22,3	28,3	35,4	12,5	9,0
PSCoV	R	310,4	451,1	209,1	318,9	385,3	190,9	343,6	274,4	164,2
	V	277,4	245,2	145,9	267,4	277,7	155,2	278,0	172,3	116,9
MPFD	R	1,10	1,09	1,11	1,10	1,10	1,11	1,09	1,10	1,10
	V	1,349	1,436	1,366	1,357	1,424	1,364	1,355	1,422	1,378
AWMPFD	R	1,09	1,21	1,18	1,09	1,21	1,17	1,11	1,22	1,16
	V	1,269	1,420	1,361	1,262	1,419	1,375	1,282	1,453	1,379
MNN	R	242,8	42,5	111,2	278,0	41,9	222,5	204,0	40,6	142,4
	V	439,3	61,5	166,0	518,4	65,0	267,8	611,6	84,5	229,9
MPI	R	198,8	611,3	312,1	277,3	266,8	183,3	322,4	167,3	106,1
IJI	R	58,7	80,4	70,0	79,0	78,6	87,7	59,1	53,8	72,7

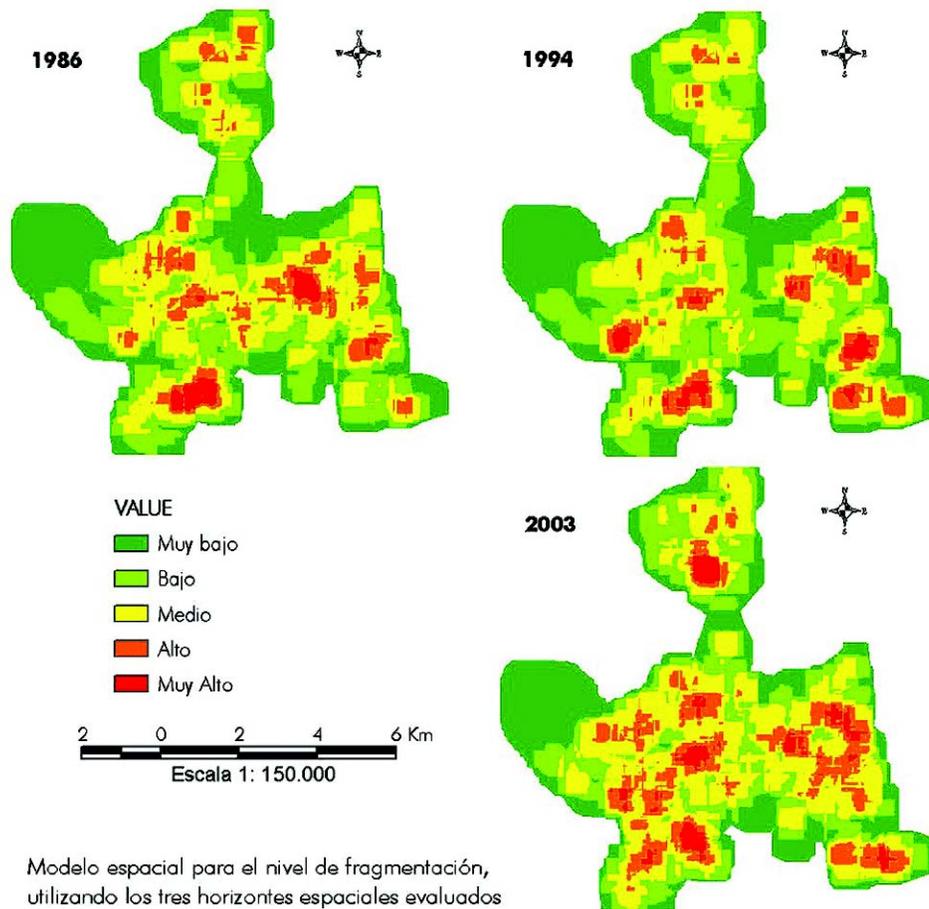
TABLA 7. MÉTRICAS DEL PAISAJE RELACIONADAS COMO INDICADORES DE FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE PARA LOS TRES HORIZONTES TEMPORALES. «V» CORRESPONDE A LOS RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE UN MODELO DE DATOS VECTORIAL, «R» CORRESPONDE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA APLICACIÓN DE UN MODELO RASTER CON RESOLUCIÓN DE PÍXEL DE 25\*25 M. BNa: Bosque nativo adulto, BNm: Bosque mixto, BNr: Bosque nativo de renovales. NumP= Número de parches, MPS= Media del tamaño de los parches, PSCoV= Covariancia del tamaño de parches, MPFD= Media de la dimensión fractal de los parches, AWMPFD= Media de la dimensión fractal de los parches estandarizada por el área, MNN= Media del vecino más cercano, MPI= Media del índice de proximidad, IJI= Índice de yuxtaposición e interdispersión.

Landscape metrics used as fragmentation indicators for three temporal horizons. «V» means results obtained after the application of a vectorial model. «R» means results obtained after the application of a raster model with a 25\*25 m pixel resolution. BNa: Bosque nativo adulto, BNm: Bosque mixto, BNr: Bosque nativo de renovales. NumP= Número de parches, MPS= Media del tamaño de los parches, PSCoV= Covariancia del tamaño de parches, MPFD= Media de la dimensión fractal de los parches, AWMPFD= Media de la dimensión fractal de los parches estandarizada por el área, MNN= Media del vecino más cercano, MPI= Media del índice de proximidad, IJI= Índice de yuxtaposición e interdispersión.

cartografía de análisis, por cada 3\*3 m de aumento en la resolución del píxel se aumenta la escala en 10.000; por lo tanto, para píxeles de 12\*12 m se tendría una escala apropiada de trabajo 1:40.000 y viceversa.

Como se estableció en la metodología la resolución apropiada de píxel, para este estudio, estaría acotada entre 3\*3 y 15\*15 m, en base a las fuentes de información. Entonces, para el Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (CONAF-CONAMA-BIRF 1999) a escala 50.000, la resolución de píxel

debiera ser de 15\*15 m en el modelo raster; para la cartografía temática de Forestal Anchile, desarrollada en base a fotogramas color 1:5000-1:10.000, la resolución de píxel debiera ser 1,5\*1,5 m a 3\*3 m. Cabe señalar que en la medida que se aumenta la resolución espacial aumentan los requerimientos técnicos para el análisis, por lo cual se debe optar por la mínima escala a la cual el objetivo sea evaluado adecuadamente (Levin 1992). Por otra parte, se utiliza habitualmente como resolución máxima la mínima resolución de las



Modelo espacial para el nivel de fragmentación, utilizando los tres horizontes espaciales evaluados

FIGURA 3. VARIACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN SEGÚN ÍNDICE, CALCULADO CON ANALYSIS AND NEIGHBORHOOD STATISTICS, ESTANDARIZADO PARA UNA VENTANA DE 25\*25 PÍXELES.

Variation of the fragmentation according an index, calculated with Analysis and Neighborhood Statistics, standarized for a kernel of 25\*25 m pixels.

fuentes; en el proceso de homologación se ha aumentado la resolución espacial de las fuentes y esto permitiría tener una mejor representación.

Con respecto a la dinámica en el paisaje se aprecia, a nivel de la cobertura de suelo, un proceso de conversión del destino de la tierra, que responde a los patrones actuales encontrados en otras zonas del país; al

comparar, por ejemplo, lo informado por CONAMA y CONAF para 1999 y 2003, fuertemente marcado por el cambio de áreas agropecuarias degradadas a uso forestal y una reducción en la pérdida de bosque nativo (CONAMA-CONAF 2003).

En términos de los patrones espaciales, los resultados muestran una variación en la composición del paisaje, principalmente dado

por el cambio de una matriz de tipo agropecuario a una forestal y pérdida en superficie y número de parches de bosque nativo, principalmente relacionados a renovales (Tablas 4 y 5), con el consiguiente cambio, esperado, en el efecto de la matriz sobre las poblaciones animales que debieran estar asociadas a los parches de bosque, en términos de aislamiento, conectividad y efecto de borde (Dunning et al. 1995, Murcia 1995, Gustafson 1998, Estados & Temple 1999, Rau & Gantz 2001). Por su parte, el proceso de fragmentación lleva a una evolución progresiva, aumentando en las zonas con mayor tasa de fragmentación durante el periodo de estudio. Junto con esto, los parches se encuentran más sobrepuestos y conectados con parches de otras clases que con parches de la misma clase.

En términos de forma, los resultados denotan formas más bien irregulares con tamaño variable, bastante cercanos a los obtenidos en otros estudios, como el de Rau & Gantz (2001) y Montenegro (2000), autores que calcularon dimensiones fractales de 1,349 en el primer estudio y 1,3 en el segundo, para otras zonas del sur de Chile, y que estarían de acuerdo a los patrones históricos de uso de la tierra, relacionado a áreas amplias de explotación o cultivo vinculadas a remanentes de vegetación nativa en formaciones de parque o como corredores riparianos en los cursos de agua.

Sobre el sistema de manejo, implementado por Forestal Anchile en estos tres predios, se aprecia la mantención de remanentes de bosque nativo adulto, bien conservado. Estos parches, muy pocos en número pero a la vez de tamaños mayores, debieran, de acuerdo a los resultados, tener menor influencia de la matriz, por lo cual podrían actuar como hábitat fuente para especies de núcleo (Bustamante & Grez 1995, Saunders et al. 1991), en especial el gran parche ubicado en la parte oeste de

los predios y que aparece conectado a una superficie importante de bosque nativo del macizo cordillerano costero.

Por su parte, la conservación de vegetación ripariana debiera mantener niveles adecuados de conectividad desde los parches de mayor tamaño a los de menor tamaño, a pesar de la aparente pérdida en superficie de los parches de renoval y bosque mixto, en especial de fragmentos de mayor tamaño de renovales que han desaparecido prácticamente durante los últimos 10 años, esto expresado en el aumento de la fragmentación local, como muestra el modelo espacial de la Fig. 3 y del grado de yuxtaposición entre clases del paisaje (Tabla 7). Si bien este estudio no realizó un análisis de conectividad exhaustivo, considerando modelos espaciales e índices adecuados que manifiesten las diferencias en la permeabilidad de la matriz, de acuerdo a información existente se podría esperar, por parte de especies vinculadas al bosque nativo ya sea de núcleo o borde, un mayor grado de utilización de una matriz forestal que de una matriz agropecuaria por parte de especies de bosque (Bustamante & Grez 1995, Murcia 1995, Estados & Temple 1999), eso sí, se debe hacer mención a que las rotaciones de las plantaciones producen cambios radicales en esta conectividad tras los roces o cosechas.

Se concluye que en el área de estudio se ha perdido aproximadamente un 18% de praderas mientras que las plantaciones forestales han aumentado en aproximadamente un 9%. A su vez, la tasa de fragmentación ha sido de un 2,9% anual afectando a renovales del bosque nativo. Para este estudio, la resolución espacial más apropiada fue de un píxel de 6\*6 m para una escala de 1: 20.000.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha realizado en el marco de convenios existentes entre La Universidad de Los Lagos, a través de su Programa de Educación e Investigación Biológica & Ambiental (Programa IBAM), y la Forestal Anchile Ltda. Un especial agradecimiento a los funcionarios de Forestal Anchile, con los cuales se interactuó, permitiendo obtener acceso a información relevante para este estudio, en el marco de su proceso de certificación ambiental (Forestry Stewardship Council-FSC). También se agradece al Programa Global Land Cover Facility, de la Universidad de Maryland, a través del cual se ha tenido acceso a las imágenes de satélite utilizadas en el estudio. Finalmente, a Mateo Rau C., por su invaluable ayuda con la edición del texto.

## LITERATURA CITADA

- BISSONETTE J (1997) Wildlife and landscape ecology: effects of pattern and scale. Ed. Springer-Verlag. New York, EE.UU. 410 pp.
- BURELF & J BAUDRY (2002) Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 353 pp.
- BUSTAMANTE R & A GREZ (1995) Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. *Ambiente y Desarrollo* 11: 58-63.
- CONAF-CONAMA-BIRF (1999) Catastro de recursos vegetacionales de Chile.
- CONAMA-CONAF (2003) Actualización catastro de recursos vegetacionales de Chile.
- DUNNING J, R BORGELLA, K CLEMENTS & G MEFFE (1995) Patch isolation, corridor effects, and colonization by a resident sparrow in a managed pine woodland. *Conservation Biology* 9: 542-550.
- ESTADES C & S TEMPLE (1999) Deciduous – forest bird communities in a fragmented landscape dominated by exotic pines plantations. *Ecological Applications* 9: 573-585.
- FALLAS J (1998) Sistemas integrados de información geográfica. Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográficos (TELESIG). Programa Regional de Manejo de Vida Silvestre y Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- FORMAN R & GORDON M (1986) Landscape ecology. John Wiley and Sons. New York, EE.UU.
- FORMAN R (1995) Land mosaics. Cambridge University Press. New York, EE.UU. 435 pp.
- GANTZAJ RAU (1999) Relación entre el tamaño mínimo de fragmentos boscosos y su riqueza de especies de aves en el sur de Chile. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso* 24: 85-90.
- GREZ A, R BUSTAMANTE, J SIMONETTI & L FAHRIG (1998) Landscape ecology, deforestation, and forest fragmentation: the case of the rui forest in Chile. En: Salinas E, J Middleton. *La ecología del paisaje como base para el desarrollo sustentable en América Latina / Landscape ecology as a tool for sustainable development in Latin America*. <http://www.brocku.ca/epi/lebk/lebk.html>.
- GUSTAFSON E & G PARKER (1992) Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landscape Ecology* 7: 101-110.
- GUSTAFSON E (1998) Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art?. *Ecosystem* 1:143-156.
- LEP-UMASS (2002) FRAGSTATS conceptual background, landscape pattern metrics. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/Conceptual%20Background/Background%20TOC.htm>.
- LEVIN S (1992) The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology* 73: 1943-1967
- MANDELBROT B (1984) *Les objets fractals*. Flammarion, Paris.
- MCGARIGAL K & BJ MARKS (1995) FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-351.
- MCGARIGAL K (2002) Landscape pattern metrics. En: AH El Shaarawi & WW Pietersch (eds).

- Encyclopedia of Environmetrics. John Wiley & Sons. Sussex. England. Volume 2: 1135-1142.
- MONTENEGRO L (2000) Dinámica de la vegetación de un paisaje fragmentado de la depresión intermedia de la provincia de Osorno, Chile. Tesis de Magíster en Ciencias. Universidad de Los Lagos, Osorno, Chile. 101 p.
- MURCIA C (1995) Edge effects in fragmented forest: implication for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 10: 58-62.
- O'NEILL R, J KRUMMEL, R GARDNER, G SUGIHARA, B JACKSON, D DE ANGELIS, B MILNE, M TURNER, B ZYGMUNT, S CHRISTENSEN, V DALE & R GRAHAM (1988) Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1: 153-162.
- PEÑA-CORTES F, G REBOLLEDO, K HERMOSILLA, E HAUENSTEIN, C BERTRAN, R SCHLATTER & J TAPIA (2006) Dinámica del paisaje para el período 1980-2004 en la cuenca costera del lago Budi, Chile: consideraciones para la conservación de sus humedales. *Ecología Austral* 16: 183-196.
- PINCHEIRA-ÜLBRICH, JR RAU & F PEÑA-CORTES (2009) Tamaño y forma de fragmentos de bosque y su relación con la riqueza de especies de árboles y arbustos. *Phyton* 78: 121-128.
- RAU J & A GANTZ (2001) Fragmentación del bosque nativo del sur de Chile: efectos del área y la forma sobre la biodiversidad de aves. *Boletín Sociedad de Biología de Concepción* 72: 109-119.
- RODAS-TREJO J, G REBOLLEDO & JR RAU (2010) Uso y selección de hábitat por mamíferos carnívoros y herbívoros en bosque nativo y plantaciones forestales del sur de Chile. *Gestión Ambiental* 19: 33-46.
- SAUNDERS D, R HOBBS & C MARGULES (1991) Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5: 18-32.
- SORIGUER R, FJ MARQUEZ, S WEYKAM, P FANDOS, JE GRANADOS, M CHIROSA, MC PEREZ & JM PEREZ (2002) SIG y biología molecular como herramientas de estudio en manejo de recursos naturales. *Gestión Ambiental* 6: 11-31.
- TORREJON F & M CISTERNAS (2002) Alteraciones del paisaje ecológico araucano por asimilación mapuche de la agroganadería hispano-mediterránea (siglos XVI y XVII). *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 729-736.
- WIENS J, N STENSETH, B VAN HORNE & R ANKER (1993) Ecological mechanisms and landscape ecology. *Oikos* 66: 369-380.

Recibido 19/05/2010; aceptado 4/08/2010