

Cambio de uso del suelo en los geosistemas de la cuenca costera del Río Boroa (Chile) entre 1994 y 2004

Land use change in the geosystem coastal basin of the Boroa river (Chile) between 1994 and 2004

Fernando Peña-Cortés
Miguel Escalona-Ulloa

Jimmy Pincheira-Ulbrich
Gonzalo Rebolledo

Originales: Recepción: 23/09/2010 - Aceptación: 04/04/2011

RESUMEN

Se analizaron los principales cambios de uso del suelo en las unidades de paisaje (geosistemas) de la cuenca hidrográfica del río Boroa entre 1994 y 2004. Para ello se planteó la hipótesis de que los cambios en la estructura del paisaje han sido conducidos fundamentalmente por acción antrópica generando importantes alteraciones en el paisaje ecológico. Se utilizaron mapas categóricos de uso/cobertura de suelo elaborados con material cartográfico y fotografías aéreas con su posterior corrección en terreno, información que fue complementada con el análisis geomorfológico y de unidades ambientales de la cuenca. Se comprobó una fuerte variación en la superficie de plantaciones forestales (principalmente *Eucalyptus* spp.), con una tasa de incremento anual que varió entre 3,2 y 28%, asociado principalmente a reconversión de uso y ocupación de cordones montañosos metamórficos. A su vez, se constató la expansión de zonas de humedales en terrenos anegadizos de llanuras, todo lo cual ha reducido la

ABSTRACT

We analyzed the major changes in land use in the landscape units (geosystems) of Boroa river basin between 1994 and 2004. To do this, we hypothesized that changes in landscape structure have been driven primarily by human action, generating significant changes in the ecological landscape. Categorical maps of use/land cover made from aerial photographs, cartographic material and its subsequent correction in the field were used. This information was complemented by an analysis of the geomorphology and environmental units of the basin. Significant variation was found in the area of forest plantations (mainly *Eucalyptus* spp.) which varied between 3.2 and 28%, associated principally with the conversion of the use and occupation of metamorphic mountain chains. At the same time, the expansion in wetlands areas on waterlogged soils was found, all of which have reduced the total agricultural area in 61%, transforming the landscape into a period of only ten years. These changes are discussed on

superficie total con destino agrícola en 61%, transformando el paisaje en un periodo de sólo diez años. Estos cambios se discuten sobre la base de una combinación de factores económicos, legales y ambientales, concluyendo que el factor humano ha sido el principal responsable de la conducción de los cambios de uso del suelo en la cuenca del río Boroa.

the basis of a combination of economic, legal and environmental, concluding that the human factor has been primarily responsible for driving changes in land use in the Boroa river basin.

Palabras clave

cambio de uso del suelo • manejo de cuencas • humedales • bosque nativo • fragmentación del paisaje • comunidades locales • desarrollo sustentable

Keywords

changes in land use • basin management • wetlands • native forest • landscape fragmentation • local communities • sustainable development

INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica es una unidad elemental en la gestión de los recursos hídricos, así como de planificación y gestión territorial, propicia para el manejo integrado de los recursos naturales y el medio ambiente. Integran sistemas complejos y dinámicos que pueden delimitarse por las líneas de crestas que constituyen la divisoria de las aguas y a partir de la cual la precipitación drena hacia una sección de un cauce o hacia un punto en común (25). El sistema se caracteriza por la interacción de diversos componentes, entre los que se pueden mencionar: los físicos (e. g. el agua, el aire, el suelo, el subsuelo y el clima), los biológicos (e. g. plantas y animales) y los antropogénicos (e. g. socioeconómicos, culturales e institucionales) (17, 51), elementos que determinan un mosaico de distintas clases de uso/cobertura de suelo, tales como bosques, pastizales, humedales, zonas agrícolas y áreas urbanas.

En este contexto, la conservación y uso racional de la cuenca hidrográfica, en especial de las cuencas costeras que presentan humedales, constituye un objetivo de gran interés global (54), debido a que su modificación por efecto del desarrollo rápido y no sostenible altera el ciclo hidrológico, lo que puede llevar a un agravamiento y multiplicación de las inundaciones, el aumento de los niveles de contaminación, modificación en los patrones de flujo y destrucción o degradación de los hábitats (20, 48, 51, 54, 66).

Montalvo (39) señala que la cuenca es una unidad lógica de planificación, que obliga explícitamente a reconocer que el desarrollo basado en los recursos naturales o sobre el suelo, depende de la interacción de todas las actividades que tienen lugar en el total de la cuenca, permitiendo la aplicación de enfoques ambientales integrados para su gestión. En ella, la dinámica espacial de los patrones de uso del suelo ejerce un efecto importante sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas y sobre la biodiversidad, pudiendo potenciar procesos de deterioro de la fertilidad de suelo, de la calidad del agua y pérdida del hábitat que, en consecuencia, afectan la provisión

de bienes y servicios; estos procesos tienen efectos tanto a nivel del equilibrio de los sistemas naturales como de los socioeconómicos, que afectan los niveles de pobreza del territorio (13, 24, 51, 65); por tanto, el cambio de uso del suelo y de los patrones de ocupación, puede generar impactos significativos en las economías regionales y locales (4, 14, 23, 61, 66).

La evidencia muestra que el factor humano ha sido el principal detonante de los cambios en los patrones de uso/cobertura de suelo a distintas escalas espaciales y temporales, en una relación que es afectada mutuamente y donde múltiples factores biofísicos y socioeconómicos interactúan desde los diferentes niveles de organización de esta relación (24, 34, 65). En este marco, cuando la actividad antrópica ha modelado históricamente la interacción con el espacio geográfico y, por su parte, los elementos que se interrelacionan han logrado un determinado equilibrio, el sistema logra una alta representación de la cultura de la sociedad que lo habita (19).

El estudio del cambio en los patrones de uso de la cuenca y su relación con los procesos naturales que definen el sistema, particularmente a nivel de paisaje, es de interés y utilidad para definir medidas y programas para el manejo de estos espacios. Esta temática ha sido abordada de forma sectorial e integrada desde distintos enfoques, tanto desde la perspectiva de las ciencias sociales como de las ciencias naturales, en especial la geografía y la ecología (8, 27). En este contexto, el enfoque de análisis integrado de sistemas naturales propuesto por Bertrand (3), mediante el cual se organiza el paisaje en geosistemas y geofacies, permite el análisis de la relación entre los factores ambientales que definen la composición y dinámica de las unidades del paisaje geográfico (40). Esta aproximación metodológica facilita el análisis de los sistemas naturales como base para la elaboración de propuestas de conservación, planificación y gestión territorial (30, 32, 56). Al respecto, Gómez (26) indica que la definición de unidades homogéneas constituye el punto de partida del diagnóstico territorial, el que se orienta a comprender el modelo territorial a la luz de su trayectoria histórica y de su evolución previsible si no se interviene y lo expresa en términos de problemas actuales o potenciales y de potencialidades.

Operacionalmente, la dinámica del cambio de uso del suelo puede ser abordada desde una perspectiva espacialmente explícita, utilizando sensores remotos y cartografía histórica. Básicamente, este enfoque implica la comparación de dos o más períodos, mediante la evaluación de las superficies ocupadas por distintos tipos de cobertura y/o uso del suelo. De esta forma, a partir de la interpretación de las coberturas es posible estimar la tasa de cambio promedio, los vectores de cambio y la redistribución de las categorías de uso de los geosistemas o unidades de paisaje al interior de una cuenca, como también aplicar modelos probabilísticos tendientes a estimar la posibilidad y magnitud del cambio en los usos-cobertura de suelo (37, 41, 43).

En el caso del borde costero de la Región de La Araucanía en Chile, éste presenta diversas cuencas costeras con un grado variable de uso antrópico. Una de ellas la constituye la cuenca del río Boroa, caracterizada por una morfogénesis intermontana asociada a procesos tectónicos y depositacionales (33). En esta unidad geográfica,

el terremoto de 1960 generó importantes procesos de subducción, ampliando la extensión de sus humedales y contribuyendo a la conformación de áreas ricas tanto en paisaje como en biodiversidad (46, 47, 48, 49, 50).

De acuerdo con la clasificación de unidades paisajísticas de Dugan (21), la base de la cuenca del río Boroa corresponde principalmente a un humedal de tipo ribereño, tipología que se caracteriza por una alta presión de uso sobre los recursos naturales debido a la intervención humana (11, 20, 51, 52). Para aproximarse a la comprensión de los efectos de esta presión se requiere como base conocer la estructura espacial del paisaje y su cambio en el tiempo, de modo de determinar en qué grado el factor humano ha sido responsable de estos cambios. Precisamente, se reconoce que el cambio de uso del suelo es una de las alteraciones globales más importantes causadas por el hombre (24), por ello se plantea la hipótesis de que los cambios en la estructura del paisaje han sido conducidos fundamentalmente por acción antrópica generando importantes alteraciones en el paisaje ecológico. En consecuencia, el objetivo de este trabajo es analizar los principales cambios de uso del suelo en las unidades de paisaje (geosistemas) de la cuenca hidrográfica del río Boroa entre 1994 y 2004, como base para futuras investigaciones que ofrezcan alternativas frente al uso intensivo de los sistemas húmedos costeros de Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Corresponde a la cuenca hidrográfica del río Boroa, con una superficie de 13.434 ha, en la cual el río homónimo atraviesa la unidad en sentido SE - NO (figura 1, pág. 5). La cuenca se localiza en el borde costero de la comuna de Toltén en la Región de La Araucanía en Chile, precisamente en la vertiente occidental de la cordillera de la Costa, entre los 39°13' y 39° 21' Sur, y los 73° 01' y 73° 10' Oeste; limita por el occidente con los cordones de Puralaco, por el oriente con el cordón de Polcura y por el sur con el cordón de Queule.

El clima es oceánico con influencia mediterránea (18), con temperatura media anual de 12°C y con presencia de sequía durante la estación cálida. La precipitación media anual es de 1.553 mm, concentrada en el período frío del año.

El suelo presenta limitaciones muy severas, que lo hace inadecuado para los cultivos agrícolas (clase VII), potenciando otros usos, tales como el pastoreo o forestal; además, presenta restricciones importantes, tales como pendientes muy pronunciadas, erosión, suelo delgado, piedras y presencia de sales o sodio (12).

El sector costero registra los máximos niveles de pobreza y de ruralidad dentro de la región y del país (31), situación que ha conllevado a la degradación de sus recursos naturales (2, 5, 49, 66) y que, además, se ha agravado por el alto grado de división predial (45, 50).

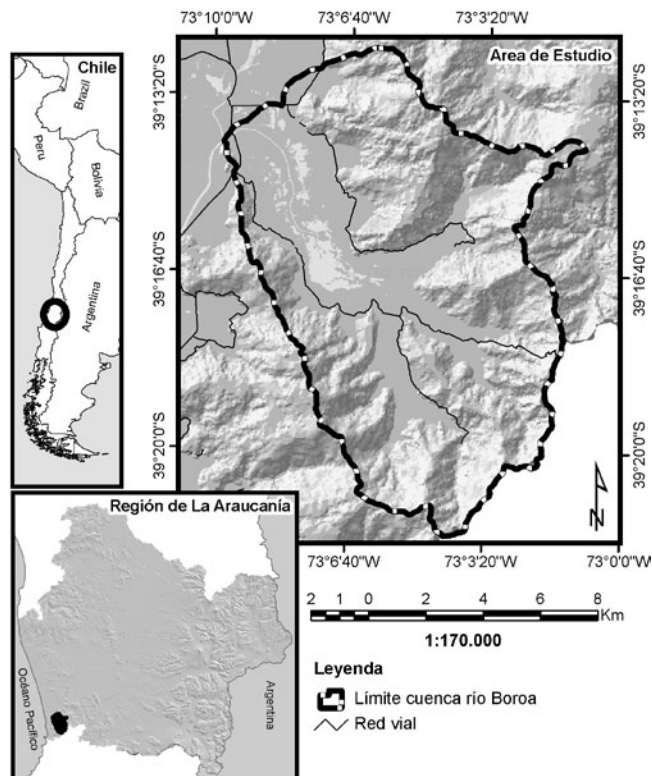


Figura 1. Área de estudio cuenca del río Boroa.
Figure 1. Study area Boroa river basin.

Metodología

La caracterización del área de estudio se basó en la identificación de la superficie comprendida entre las líneas divisorias de agua que drenan al mar. Se utilizaron las cartas topográficas de Toltén y Queule del Instituto Geográfico Militar de Chile (IGM), escala 1:50.000, año 1967, en base a las cuales se elaboró la cartografía con los límites de la cuenca en estudio, la que fue digitalizada en formato Shape de Arcview y utilizada como referencia en los análisis subsecuentes. A su vez, se utilizó cartografía base IGM y FONDECYT 1030861 para las diferentes capas de información incorporadas en el análisis.

La caracterización de las unidades y procesos geomorfológicos de la cuenca se basaron en la verificación de terreno y análisis de la cartografía escala 1:25.000, elaborada en el marco del proyecto FONDECYT 1030861 (45). Esta información fue tabulada y analizada geoespacialmente para establecer relaciones entre los patrones de uso de suelo y los procesos que ocurren en las unidades geomorfológicas, las cuales fueron ordenadas en relieves de erosión y acumulación según jerarquía (cordones, plataformas y llanuras) (44, 51).

Siguiendo la metodología de Análisis Integrado de Sistemas Naturales de Bertrand (3) se elaboró cartografía de unidades ambientales de análisis, en función de la integración de las capas de información de variables físicas escala 1:25.000; así se definieron unidades homogéneas de paisaje, conocidas como geosistemas y geofacies (unidades y sub unidades, respectivamente), que entregan información integrada del sistema natural, las cuales fueron denominadas según sus características ambientales más relevantes. De esta forma, para cada unidad caracterizada se definieron cuatro tipos de subunidades, condicionadas por su evolución: equilibrio paraclimácico, evolución progresiva, evolución regresiva (o regresión) y rexistasia.

Para el análisis de cambio en el uso se utilizó una capa de uso/cobertura, elaborada en base a fotointerpretación de fotogramas de los vuelos SAF - FONDEF 1994 y SAF - FONDECYT 1030861 año 2004, ambos pancromáticos escala 1:20.000. La fotointerpretación clasificó parches de más de una hectárea en once categorías de uso del suelo: agrícola, bosque nativo, bosque pantanoso (*Blepharocalyx cruckshankii* (H. et A.) Nied - *Myrceugenia exsucca* (DC.) Berg), humedal, matorral, pastizales, plantación de álamo (*Populus* spp.), plantación de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) > 4 años, plantaciones de pino (*Pinus radiata* D. Don) > 4 años, plantación joven (< a 4 años) o cosecha reciente, y cuerpos de agua.

El proceso se complementó con verificación de campo, en base a una muestra de sitios de chequeo y revisión por tramos de caminos secundarios, lo que permitió contrastar las unidades identificadas con lo observado en terreno en áreas puntuales con coberturas de uso de suelo reconocidas en la fotografía y que presentaban una accesibilidad adecuada. La información fue corregida en gabinete y posteriormente incorporada en la cartografía.

El procesamiento y análisis espacial se realizó mediante los softwares Arcview™ 3.2a y 8.2. Las fuentes cartográficas consultadas fueron digitalmente procesadas en el Laboratorio de Planificación Territorial de la Universidad Católica de Temuco (LPT-UCT). La evaluación del cambio de uso del suelo en el período de estudio (1994 - 2004) se basó en la comparación de la distribución del tamaño y número de fragmentos, complementado con el cálculo de tasas de cambio promedio anual, mediante el método logarítmico planteado en Corine land cover 2000 (22). La significancia estadística en los delta de variación para los usos de suelo fue testeada mediante la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney, con un nivel de significación (α) igual a 0,05 (59).

RESULTADOS

Caracterización geomorfológica de la cuenca

La cuenca hidrográfica del río Boroa está conformada principalmente por dos unidades geomorfológicas: cordones en roca metamórfica (74,8% de la superficie de la cuenca) y llanura aluvial (23,8% de la superficie de la cuenca) (tabla 1, pág. 7).

La morfogénesis de la cuenca está determinada, por un lado, por procesos tectónicos, los cuales produjeron el afloramiento del batolito costero que forma el relieve estructural de la cuenca y, por otro, por procesos depositacionales ocurridos

por efecto del agente marino y fluvial, conformando llanuras fluvio-marinas sobre las cuales se inscribe el relieve fluvial.

El cordón de Polcura constituye la unidad geomorfológica con mayor jerarquía que se transforma en el límite natural de la cuenca en el sector oriental con cotas máximas que oscilan entre 580 y 464 m s. n. m., mientras que el límite occidental está dado por los cerros de Puralaco con cotas máximas de 560 y 534 m s. n. m.; los cordones presentan una dirección general Noreste-Suroeste, a excepción de los meridionales que se desarrollan en sentido Este-Oeste. Las subcuencas de recepción que se forman en estos cordones originan una red dendrítica que desemboca en cursos de agua que llegan finalmente al río Boroa.

La llanura aluvial registra procesos de anegamiento, tanto permanentes como estacionales, que cubren el 10,4% de la superficie de la cuenca (1.229 y 158 ha, respectivamente). Esta relación representa uno de los elementos distintivos del paisaje de la cuenca, permitiendo la formación de extensas áreas de humedales y bosques pantanosos.

Tabla 1. Representación en superficie y porcentaje de las unidades geomorfológicas y procesos en la cuenca del río Boroa.

Table 1. Representation in area and percentage of units and geomorphological processes in river basin Boroa.

Unidad	Sup. (ha)	%
Relieve de erosión	10.161,5	75,64
Cordón montañoso en roca metamórfica	10.056,2	74,86
Plataforma en roca metamórfica	105,3	0,78
Relieve de acumulación	3.215,5	23,94
Llanura aluvial	3.196,6	23,79
Depósitos coluviales	18,9	0,14
Cursos y cuerpos de agua	57,0	0,42
Total	13.434,0	100,0
Procesos	1.476,4	11,0
Anegamiento permanente	1.229,6	9,2
Anegamiento estacional	158,4	1,2
Erosión en manto	17,8	0,1
Erosión lineal (carcavas)	59,6	0,4
Soliflucción en terracetos	11,0	0,1

Sup. (ha) = superficie en hectáreas, % = porcentaje de la superficie total de la cuenca.

Sup. (ha) = area in hectares, % = percentage and the total area of the basin.

Por otra parte, es posible constatar la presencia de procesos de erosión lineal y en manto (0,5% de la superficie de la cuenca), vinculados a laderas de media a alta pendiente en los cordones en roca metamórfica (figura 2, pág. 8).

Las características geológicas y la estructura del suelo en estas unidades determinan su vulnerabilidad a la erosión, la que se ve potenciada históricamente por las inadecuadas prácticas de uso en sus taludes.

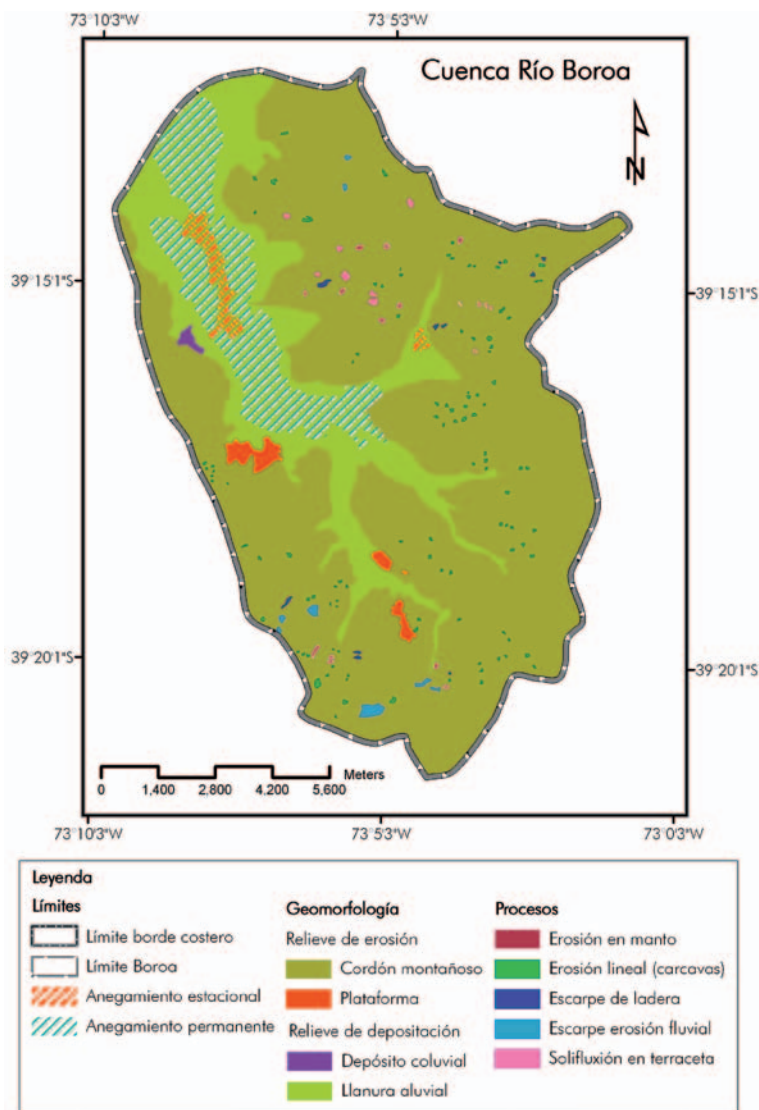


Figura 2. Unidades y procesos geomorfológicos de la cuenca del río Boroa.
Figure 2. Units and geomorphic processes of the Boroa river basin.

Las unidades ambientales definidas (geosistemas), a través de la aplicación de la metodología de análisis integrado (2), dan cuenta de las condiciones morfológicas y de uso en el territorio de la cuenca.

Se definieron cuatro geosistemas y sus respectivas geofacies, que permitieron tener una imagen global del territorio identificando su estado y dinámica (figura 3, pág. 10); las unidades fueron denominadas como: Geosistema forestal de cordón montañoso

costero húmedo (GFOR), ubicado entre los cordones montañosos de la cordillera de Polcura, cerros de Puralaco y la cordillera de Queule; Geosistema de antigua ocupación agroganadera y forestación reciente (GAFOR), el cual se ubica específicamente sobre la cordillera de Polcura al Este del área de humedales; Geosistema de humedales de pitrantos, juncal y totoral en llanura aluvial anegadiza (GHU), que se emplaza sobre la llanura aluvial, donde predominan los procesos de mayor anegamiento; y el Geosistema de antiguo uso agroganadero en llanura aluvial (GAL), que se localiza en la parte baja de la cuenca, asociado a la llanura aluvial (tabla 2; figura 2, pág. 8).

Tabla 2. Representación de las unidades ambientales de paisaje (geosistemas) y sus subunidades de estado (geofacies).

Table 2. Representation of the environmental units of the landscape (geosystems) state and its subunits (geofacies).

Geosistema	Geofacie	Sup. (ha)	PG (%)	PC (%)
GFOR	Geofacie en equilibrio paraclimático	3.789,4	63,3	28,2
	Geofacie en evolución progresiva	56,5	0,9	0,4
	Geofacie en regresión	1.742,6	29,1	13,0
	Geofacie en rexiestasia	399,3	6,7	3,0
	TOTAL GFOR	5.987,8	100,0	44,6
GAFOR	Geofacie en equilibrio paraclimático	3.459,0	81,8	25,7
	Geofacie en evolución progresiva	267,0	6,3	2,0
	Geofacie en regresión	402,1	9,5	3,0
	Geofacie en rexiestasia	103,0	2,4	0,8
	TOTAL GAFOR	4.231,1	100,0	31,5
GHU	Geofacie en evolución progresiva	862,9	35,8	6,4
	Geofacie en rexiestasia	1.547,7	64,2	11,5
	TOTAL GHU	2.410,6	100,0	17,9
GAL	Geofacie en evolución progresiva	770,0	96,6	5,7
	Geofacie en rexiestasia	27,1	3,4	0,2
	TOTAL GAL	797,1	100,0	5,9
	Área no reconocida	7,0	100,0	0,1
TOTAL		13.434		

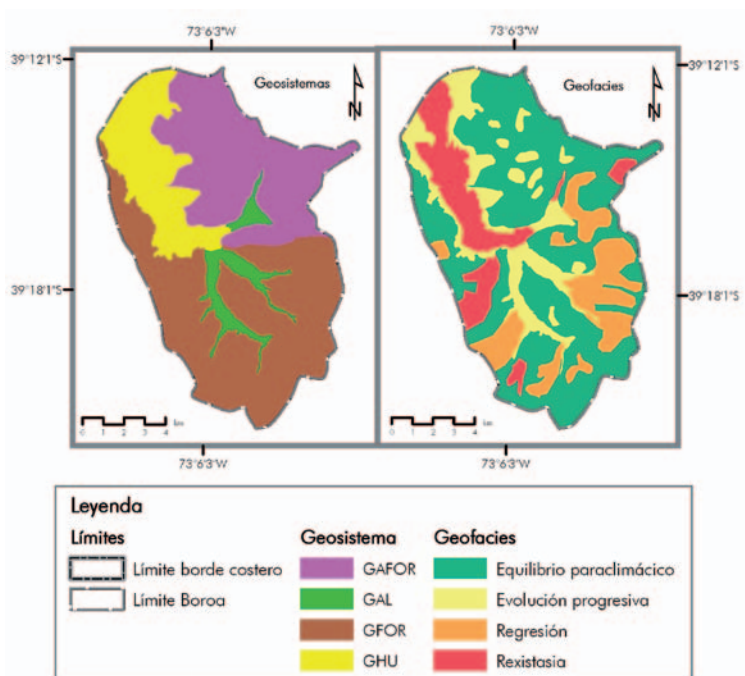
Sup. (ha) = superficie en ha de cada unidad o subunidad; PG = peso de representación proporcional sobre la superficie del geosistema; PC = peso de representación proporcional sobre la superficie de la cuenca
 GAFOR = geosistema de antigua ocupación agroganadera y forestación reciente. GAL = geosistema antiguo de uso agroganadero en llanura aluvial. GFOR = geosistemas forestal de cordón montañoso costero húmedo. GHU = Geosistema de humedales de pitrantos, juncal y totoral en llanura aluvial anegadiza.

Sup. (ha) = area in hectares of each unit or subunit; PG = weight of proportional representation on the surface of geosistema; PC = proportional weight on the surface of the basin. GAFOR = geosystem of former agricultural and farming and recent forestry occupation. GAL = geosystems old agricultural and livestock use in floodplain
 GFOR = geosystems forest humid coastal mountain range. GHU = geosystems of swamp forest, reeds and cattails in swampy floodplain.

En las unidades ambientales queda de manifiesto que el paisaje presenta niveles diferenciales de conservación y/o degradación de las funciones ecosistémicas; en este sentido, es importante notar el grado de representación de las geofacies en equilibrio paraclimático y evolución progresiva principalmente en los geosistemas de uso forestal (GFOR y GAFOR) (tabla 2; figura 2, pág. 8). La primera representa espacios territoriales en estado de equilibrio, sin presencia de procesos erosivos con importante

cobertura de suelo: esto implica que si las condiciones ambientales se mantienen o mejoran esta geofacies podría cambiar y categorizarse como evolución progresiva; la segunda representa unidades con procesos de restauración o protección, en las cuales el patrón de uso/cobertura actual da soporte de protección a las condiciones de inestabilidad del relieve, por tanto son sistemas que podrían recuperarse de la degradación del suelo.

Sin embargo, la sustitución del bosque nativo, el efecto de la tala rasa y los cortos ciclos forestales, son los elementos que se conjugan para configurar el estado actual del sistema, en el cual la alteración de estas unidades modifica la dinámica de escorrentía superficial de la cuenca, incrementando la erosión, en un espacio que se encuentra altamente relacionado a cordones montañosos de pendientes fuertes y material metamórfico, lo que determina ciclos en regresión o rexistasia y en equilibrio y evolución.



GAFOR = geosistema de antigua ocupación agroganadera y forestación reciente. GAL = geosistema antiguo de uso agroganadero en llanura aluvial. GFOR = geosistema forestal de cordón montañoso costero húmedo. GHU = geosistema de humedales de pitrantos, juncal y totoral en llanura aluvial anegadiza.

GAFOR = geosystem of former agricultural and farming and recent forestry occupation. GAL = geosystems old agricultural and livestock use in floodplain. GFOR = geosystems forest humid coastal mountain range. GHU = geosystems of swamp forest, reeds and cattails in swampy floodplain.

Figura 3. Geosistemas y geofacies de la cuenca del río Boroa.

Figure 3. Geosystems and geofacies Boroa river basin.

El uso del suelo y su cambio

La cuantificación del cambio de uso del suelo permitió constatar que en 1994 existían 175 ha de uso agrícola, superficie que en 2004 se redujo a 70 ha, lo que equivale a una

tasa de cambio promedio anual de -9,3% y una pérdida total del 61% de esta categoría (tabla 3, pág. 12); opuestamente, la fragmentación aumentó desde 10 a 18 fragmentos. Estos cambios se produjeron principalmente sobre el cordón montañoso, el cual mostró procesos de erosión y altas pendientes que propician un uso forestal sobre el agrícola.

El bosque nativo se distribuyó principalmente sobre el cordón montañoso y en menor medida sobre la llanura aluvial. Esta categoría alcanzó 3.669 ha en 1994, superficie que disminuyó a 3.301 ha en 2004, lo que equivale a una tasa de cambio promedio anual de -1,1% y una pérdida total de 10% en el periodo (tabla 3, pág. 12). Por su parte, se registró un aumento en el número de fragmentos, desde 55 a 106 (variación de 121%) (tabla 3, pág. 12), esto implica una fuerte presión sobre el bosque nativo que se explica por la extracción de leña, tala y sustitución por otros usos (e. g. plantaciones), lo que conlleva distintos grados de alteración de este ecosistema (figura 2, pág. 8; figura 3, pág. 10). El bosque nativo se encontró distribuido en rodales semiabiertos con un 60% de cobertura del suelo, en forma de parque de roble-laurel (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.- *Laurelia sempervirens* (Ruiz et Pav.) Tul.), con ejemplares aislados de las especies dominantes del bosque original.

El bosque pantanoso de temo - pitra (*Blepharocalyx cruckshanksii* (H. et A.) Nied. - *Myrceugenia exsucca* (DC.) Berg) presentó un incremento de su superficie, que osciló desde 276 a 367 ha, lo que equivale a una tasa de cambio promedio anual de 2,8% y un incremento de 33% de su superficie; asimismo, se constató un aumento en el número de fragmentos, desde 5 a 14 (variación de 180%) (tabla 3, pág. 12). Estos bosques se distribuyeron principalmente sobre la llanura aluvial en áreas bajas de la cuenca, asociado al curso del río Boroa, específicamente en zonas de anegamiento estacional (6 a 8 meses) (figuras 2 y 3). El aumento de la superficie de esta categoría de uso se explica en parte por la expansión de áreas húmedas sobre la llanura aluvial por efecto de la sedimentación, pero fundamentalmente se explica por la recategorización de áreas que inicialmente (en 1994) fueron clasificadas como matorrales.

Los humedales se encontraron sobre la llanura aluvial constituyendo áreas de anegamiento estacional y permanente, lo cual permite el desarrollo de praderas húmedas en terrenos planos y cercanos a cursos de agua. La superficie de estos espacios varió desde 1.598 ha en 1994 a 2.640 ha en 2004, lo que equivale a una tasa de cambio promedio anual de 5% y un incremento de 65% de su superficie (tabla 3, pág. 12). Esta importante variación puede explicarse por la expansión del humedal sobre la categoría "pastizales" por efecto de la sedimentación.

A su vez, este proceso ocurre como resultado de la erosión del suelo debido a la gran proporción de plantaciones y a la actividad de cosecha (tala rasa) que determina áreas sin cobertura vegetal. De este modo, la superficie de pastizales se redujo un 75% en el periodo de estudio, desde 4.727 ha en 1994 a 1.201 ha en 2004, que equivale a una tasa de cambio promedio anual de -13,7% (tabla 3, pág. 12). Por su parte, la superficie de matorrales se incrementó un 56%, desde 520 ha en 1994 a 810 ha en 2004 (tabla 3), que equivale a una tasa de cambio promedio anual de 4,4%, constatándose además un aumento de la fragmentación y una redistribución de esta categoría, sustituyendo áreas que inicialmente fueron bosque nativo y pastizales (figura 4, pág. 13).

Una notable variación en el uso del suelo se produjo en la categoría de plantaciones de eucaliptos > 4 años, donde se constató una superficie inicial de 36 ha en 1994 la cual aumentó a 596 ha en 2004; este incremento equivale a una tasa de cambio promedio anual de 28% y un incremento total de 1.556% en el periodo. Por su parte, la categoría de pino > 4 años, que inicialmente alcanzaba 1.712 ha, aumentó su superficie a 2.353 ha, lo que equivale a una tasa de cambio promedio anual de 3,2% y un incremento total de 37%; asimismo se constató un incremento en el número de fragmentos, desde 14 a 81 fragmentos. Las áreas con plantaciones jóvenes (< 4 años) o cosechadas recientemente alcanzaban 649 ha en 1994, mientras que en 2004 esta superficie fue tres veces mayor (1.987 ha). Por último, las plantaciones de álamo incrementaron su superficie desde 9 ha a 52 ha, lo que equivale a una tasa de cambio promedio anual de 17,4% y una expansión total de 469% de su superficie en el periodo (tabla 3).

En general, la variación positiva de la superficie de plantaciones se fundamenta en la oportunidad que promovió el Estado de Chile para recuperar suelos erosionados (o degradados) mediante monocultivos de especies exóticas (Decreto Ley N° 701 de 1974 sobre fomento forestal). No obstante, el incremento de las plantaciones representa una seria amenaza para los ecosistemas originales (e. g. humedales), el equilibrio hidrológico y la forma de vida de las comunidades locales (13, 29, 42, 46, 47, 53).

Tabla 3. Categorías de uso de suelo para 1994 y 2004.

Table 3. Land use categories for 1994 and 2004.

Categoría de uso del suelo	Sup. (ha)		TCA* (%)	Var. %	NP	
	1994	2004			1994	2004
Agrícola	178	70	-9,3	-61	10	18
Bosque nativo	3.669	3.301	-1,1	-10	55	106
Bosque pantanoso	276	367	2,8	33	5	14
Humedal	1.598	2.640	5,0	65	4	39
Matorral	520	810	4,4	56	19	29
Pastizales	4.727	1.201	-13,7	-75	42	122
Plantación de álamo	9	52	17,4	469	13	110
Plantación de eucalipto > 4 años	36	596	28,1	1.556	1	43
Plantación de pino > 4 años	1.712	2.353	3,2	37	14	81
Plantación joven (< 4 años) o cosecha reciente	649	1.987	11,2	206	9	68
Cuerpos de agua	59	57	-0,3	-3	1	2
Total	13.434	13.434		0	173	632
Wilcoxon-Mann-Whitney	$W_x = 130$ $p = 0,843$				$W_x = 85,5$ $p = 0,009$	

Sup. (ha) = superficie de la categoría en hectáreas, TCA = tasa de cambio promedio anual, * método Corine land cover, Var. % = Variación porcentual total para cada categoría, NP = Número de parches de cada categoría. s/r = sin registro en la categoría de uso del suelo. W_x = estadístico de la prueba Wilcoxon-Mann-Whitney, p = probabilidad.

Sup. (ha) = area in hectares, TCA = Annual average exchange rate, * method Corine land cover, Var. % = Total percent change for each category, NP = Number of patches in each category. s/r = No record in the category of land use. W_x = statistic of the test Wilcoxon-Mann-Whitney, p = probability.

Si bien se registraron variaciones notablemente importantes en las superficies de todas las categorías de uso del suelo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las magnitudes de las superficies del conjunto de categorías en el periodo de estudio (tabla 3: $W_x = 130$; $p = 0,843$). Sin embargo, en términos del número de fragmentos, la variación fue significativa (tabla 3: $W_x = 85,5$; $p = 0,009$), lo que implica un aumento de la fragmentación global del paisaje en el periodo.

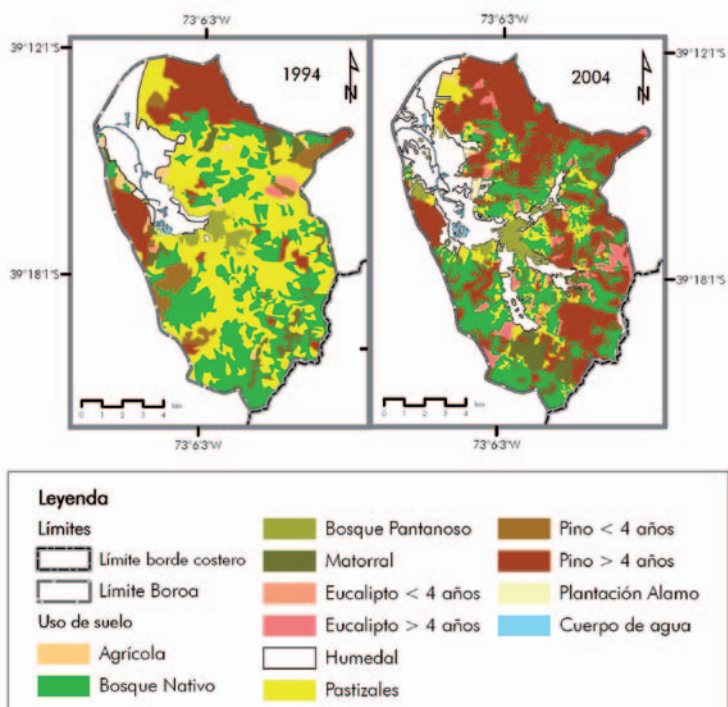


Figura 4. Principales categorías de uso de suelo en la cuenca del río Boroa.
Figure 4. Main categories of land use in Boroa river basin.

DISCUSIÓN

La cuenca del río Boroa está representada fundamentalmente por dos unidades geomorfológicas: la llanura aluvial y el cordón montañoso. Esta configuración ha determinado que los usos del suelo y los procesos naturales evolucionen hacia estados diferenciales de equilibrio (o desequilibrio). En el caso del cordón montañoso se evidenció una importante inestabilidad, atribuida por una parte al efecto de la degradación y sustitución del bosque nativo y, por otra, a la tala forestal (plantaciones de rotaciones cortas), lo que ha resultado en suelos descubiertos por largos periodos, aumentando los niveles de regresión y rexiestasia. Sin embargo, las plantaciones adultas no taladas y la vegetación nativa poco degradada han conformado áreas estables con una alta proporción de superficie en estado de equilibrio paraclimácico,

es decir, en estos espacios los procesos morfogenéticos no interfieren en el desarrollo pedogenético confiriendo cierta estabilidad al sistema (3). En el caso de la llanura aluvial, esta unidad concentra la mayor proporción de superficie en estado de rexistasia debido a que es posible identificar áreas desestabilizadas y con una pérdida de la cubierta vegetal superior, principalmente por efecto del anegamiento estacional y permanente; no obstante, la expansión de sus humedales y el desarrollo de plantaciones adultas en sus bordes han determinado una importante proporción del suelo en evolución progresiva, dada la mayor estabilidad que proporciona la cobertura vegetal.

De lo anterior se desprende que en la medida que los ciclos de plantación, cosecha, deforestación y sustitución del bosque nativo caractericen un determinado espacio, se evidenciarán ciclos dinámicos de estados en regresión, rexistasia, equilibrio o evolución, que dependerán del periodo que el suelo se encuentre descubierto. Sin embargo, la geomorfología de la cuenca le confiere al territorio capacidades diferenciales de soporte a los actuales y potenciales usos del suelo (15); de ahí la importancia de considerar la geomorfología cuando se planifican las actividades humanas, puesto que una adecuada valoración de las condiciones físicas contribuye a minimizar los potenciales efectos ambientales negativos (55).

El aumento de la superficie de humedales sobre suelos agrícolas ha incentivado la ejecución de proyectos de drenaje que permitan incrementar los espacios aptos para la agricultura o forestación, existiendo incluso programas regionales con subsidio estatal para cumplir dicho objetivo, lo que representa un serio peligro a la rica biodiversidad de estos ecosistemas (33, 42, 50, 51). Lo inquietante es que dicha actividad de drenaje ha sido avalada e incentivada financieramente por el Estado mediante la Ley N°18.450 de fomento a la inversión privada en obras de riego y drenaje de 1985 y del Decreto Ley N° 701 sobre fomento forestal de 1974, ambas normativas orientadas a recuperar suelos degradados. De acuerdo con la Sociedad Chilena de las Ciencias del Suelo (60), las áreas de mal drenaje en áreas aledañas a la cuenca del río Boroa alcanzarían un mínimo de 31.485 ha (sector de Boldo-Pichiboldo), en el cual 1.817 ha serían aptas para proyectos de drenaje.

El uso del suelo que actualmente presenta la cuenca tiene efectos no deseados en todo el sistema y particularmente sobre sus humedales, los que tienen gran interés global puesto que se encuentran entre los ecosistemas del planeta que destacan por su gran productividad y biodiversidad, la que se asemeja a las selvas tropicales (33). Actualmente, lagos y humedales son considerados como "activos ecosistémicos" (16), es decir, elementos de la naturaleza que representan una base de riqueza y soporte del bienestar material de la humanidad y que, al igual que otros ecosistemas, se están convirtiendo en bienes escasos. En este sentido, la subvaloración de los recursos y funciones de los humedales es una de las principales causas de su aprovechamiento inadecuado, usualmente, mediante su explotación para usos agropecuarios, industriales o residenciales intensivos (1, 64).

Además del cambio en el uso del suelo, se evidenció la transformación y fragmentación del paisaje, procesos que alteran el comportamiento hidrológico, físico y químico del sistema, y que a su vez modifican la frecuencia relativa y la duración de los estados tróficos en

una cuenca de captación (24, 51). Por su parte, los efectos de los fenómenos climáticos interactúan con las intervenciones humanas e intensifican la alteración en los ecosistemas (10, 11, 66); esto conlleva la pérdida de hábitat para muchas especies y constituye una seria amenaza a la biodiversidad (51, 53, 57, 58). Así, la eliminación de la cobertura vegetal y el cambio en el uso del suelo en un territorio conllevan a la manifestación de seis efectos (*sensu lato* 24): (i) aumento de los niveles de erosión del suelo, pérdida de fertilidad y arrastre de sedimentos hacia los cursos de agua; (ii) disminución de la calidad del agua y alteración del suministro de agua dulce; (iii) alteración del clima regional y de la calidad del aire, mediante el cambio en las condiciones atmosféricas que afectan los índices de radiación, transporte y depositación; (iv) modificación de la transmisión de enfermedades infecciosas y sus vectores; (v) alteración de la diversidad biológica y (vi) pérdida de calidad de vida de la población humana.

Los principales factores que inciden en el cambio de uso del suelo se relacionan de forma sinérgica, como ocurre con la deforestación, el incremento de la frontera agrícola, la demanda de alimentos, las variaciones en el precio de los productos de consumo primario y los cambios en las políticas de uso de los recursos naturales (1, 4, 65). Así, cuando el cambio de uso del suelo constituye una práctica generalizada en un territorio, la capacidad de soporte de las actividades actuales y potenciales puede verse afectada fuertemente, generando impactos en la forma de interacción entre las poblaciones humanas y su entorno (2, 13, 66). En este sentido, la expansión de los monocultivos forestales debe evaluarse dado que la evidencia muestra que existe una relación positiva entre el incremento de estas plantaciones y los niveles de pobreza de una región, esto como consecuencia del impacto en la calidad de los bienes y servicios ofrecidos en el territorio (1, 29, 35). Finalmente, si estos problemas se agudizan se generan grandes procesos de emigración desde las zonas rurales hacia áreas urbanas, con la consecuente pérdida del capital humano e identidad territorial (2, 9, 13, 49).

El borde costero corresponde a uno de los sectores más deprimidos de la Región de La Araucanía, presenta altos niveles de pobreza, indigencia, éxodo poblacional y una grave desestabilización del medio natural (5, 45, 46, 47, 49). Este escenario tiene fundamentos históricos, puesto que la cobertura original fue modificada significativamente por la acción del hombre, inicialmente, por los primeros colonos que habilitaron los suelos para agricultura y ganadería (mediante quemadas) y, posteriormente, por la industria forestal (aserraderos), situación que ha dado origen a un paisaje humanizado (2, 49, 62). Estos aspectos han conllevado a la reducción en las superficies de bosque nativo y particularmente a la de uso agrícola (tabla 3), producto de la aparente mayor rentabilidad de las plantaciones forestales. Además, la degradación histórica del suelo, por efecto del uso de técnicas agrícolas inadecuadas, ha hecho posible únicamente una agricultura de subsistencia (2, 24, 49).

Consideraciones finales

Los sistemas ecológicos regionales costeros que contienen lagos y sistemas hídricos presentan los mayores retos para el uso sostenible de los recursos naturales, la conservación de la diversidad biológica y el desarrollo económico (24, 28). En este contexto, los enfoques provistos por las ciencias del paisaje y el Análisis Integrado

de Sistemas Naturales permiten identificar el grado de estabilidad y fragilidad para cada unidad geográfica, puesto que abordan el estudio del sustrato y los factores que inciden sobre el territorio (6, 7, 36, 38, 63, 67). De este modo, las investigaciones que permitan conocer el estado actual y la evolución de los sistemas territoriales constituyen una herramienta de diagnóstico que favorece la comprensión de la dinámica espacio-temporal y la identificación de las posibles causas y efectos de los cambios de uso, los cuales contribuyen a la valoración del territorio y sus recursos (e. g. valor productivo y de conservación).

La fuerte presión sobre los recursos naturales en este breve periodo (1994 - 2004) se ha potenciado por el desconocimiento de los procesos naturales, la aplicación de tecnologías inadecuadas y la planificación motivada sólo en el afán económico inmediato. Esta situación ha originado una serie de desequilibrios territoriales tanto verticales como horizontales, que conllevan a un escenario de desarticulación y marginación del desarrollo, así como degradación de los recursos naturales, emigración y concentración poblacional en áreas urbanas (2, 49). En este marco, el ordenamiento territorial se constituye en un eje articulador de tres elementos fundamentales: las actividades humanas, el espacio en que se ubican y el sistema que entre ambos se configura; en conjunto conforman una imagen externa del sistema territorial (paisaje), reflejo del estilo de desarrollo y de la escala de valores sociales (26).

De este trabajo se desprende la necesidad de implementar una estrategia de conservación de los recursos naturales de las cuencas costeras, en un marco de desarrollo sustentable que incentive una conducta de valoración ambiental, económica, social y cultural a nivel de cuenca. La gestión de estos espacios debe estar relacionada directamente con la capacidad de acogida del territorio, que incluye variables como las interrelaciones con las actividades humanas y el componente geomorfológico, aspectos que dan forma a usos del suelo y paisajes heterogéneos (15). De esta manera se podrá contribuir de forma efectiva a la minimización de los impactos negativos de las actividades humanas sobre las cuencas hidrográficas, especialmente en ambientes costeros.

CONCLUSIONES

El análisis del cambio de uso del suelo en los geosistemas de la cuenca costera del río Boroa entre 1994 y 2004 mostró que el factor humano ha sido el principal responsable de la conducción de los cambios en las categorías analizadas. Así, la superficie de uso agrícola y la superficie de bosque nativo se redujo en 61 y 10%, respectivamente, lo que se atribuye tanto a la pérdida de la capacidad productiva del suelo por efecto de la erosión como a la sustitución por otros usos (e. g. plantaciones) que ha determinado áreas sin cobertura vegetal (degradación histórica del suelo). Estos cambios se han producido principalmente sobre el cordón montañoso, el cual presenta altas pendientes que propician un uso forestal sobre el agrícola. Opuestamente a esta tendencia de reducción, los humedales y el bosque pantanoso expandieron su superficie en 65 y 33%, respectivamente, lo que se atribuye tanto a la expansión de áreas húmedas sobre la llanura aluvial por efecto de la sedimentación como a

la recategorización de áreas que inicialmente (en 1994) fueron clasificadas como matorrales. En este sentido, la superficie de matorrales se incrementó en un 56% sustituyendo áreas que inicialmente fueron bosque nativo y pastizales. Cabe destacar la notable expansión de las plantaciones forestales y en particular de las plantaciones de eucaliptos > 4 años, las cuales incrementaron su superficie en 1.556%, situación que se fundamenta en la oportunidad que brindan estos monocultivos para recuperar suelos degradados o de baja productividad, pero que indudablemente tiene efectos no deseados sobre la biodiversidad y las interacciones culturales. En general es posible afirmar que el uso del suelo tiende a una reconversión desde la actividad agrícola a la forestal, en la cual las áreas que en 1994 estaban clasificadas en rexistasia en 2004 se presentaron con tendencia a la estabilidad.

Finalmente, la minimización de la erosión, la recuperación de suelos agrícolas, el acceso a tecnologías y la restauración ecológica, con una perspectiva integrada del territorio, permitiría minimizar los efectos adversos generados por el cambio de uso del suelo, contribuyendo además al mejoramiento en la calidad de vida de los habitantes de la cuenca del río Boroa. En este contexto el ordenamiento territorial constituye una herramienta clave que permite coordinar las acciones sobre el territorio de manera de anticiparse a los cambios sobre los sistemas naturales.

REFERENCIAS

1. Barbier, E.; M. Acreman; D. Knowler. 1997. Valoración económica de los humedales. Guía para decidores y planificadores. Oficina de la Convención de Ramsar, Reino Unido. 127 p.
2. Bengoa, J. 1991. Historia del Pueblo Mapuche (siglos XIX y XX). Ediciones Sur, Santiago, Chile. 426 p.
3. Bertrand, G. 1968. Paysage et géographie physique globales: esquisse methodologique. *Revue Géographique des Pyrenées et Sud-Ouest*. Toulouse. 39: 249-272.
4. Black, R.; M. Sessay. 1997. Forced migration, land-use change and political economy in the forest region of guinea. *African Affairs*. 96: 587-605.
5. Böergel, R. 1986. Geografía de Chile, IX región de La Araucanía. Impreso por el Instituto Geográfico Militar de Chile. 127 p.
6. Bolós, M. 1981. Problemática actual de los estudios de paisaje integrado. *Revista de Geografía* 15(1-2): 45-68.
7. Bolós, M. 1992. Manual de ciencia del paisaje. Teoría métodos y aplicaciones. Masson. Barcelona. p. 31-46.
8. Burel, F.; J. Baudry. 2002. Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 353 p.
9. Camus, P. 2006. Ambiente, bosque y gestión forestal en Chile 1541-2005. LOM Ediciones. Santiago, Chile. 390 p.
10. Carpenter, S.; M. Pace. 1997. Dystrophy and eutrophy in lake ecosystems: implications of fluctuating inputs. *Oikos*. 78: 3-14.
11. Carpenter, S.; K. Cottingham. 2002. Resilience and restoration of lakes. In: Gunderson, L. H. & Lowell Pritchard Jr. Resilience and the behavior of large-scale systems. Washington, USA Island Press. p. 51-70.
12. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 2002. Estudio agroecológico IX Región, descripción de suelos materiales y símbolos. Publicación 122. Chile. p. 360.
13. Clapp, R. 1998. Regions of refuge and the agrarian question: peasant agriculture and plantation forestry in Chilean Araucanía. *World Development*. 26(4): 571-589.

14. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2005. Hambre y desnutrición en los países miembros de la Asociación de Estados del Caribe (AEC). Publicación de las Naciones Unidas. 44 p.
15. Conacher, A. 2002. A role for geomorphology in integrated catchment management. *Australian Geographical Studies*. 40(2): 179-195.
16. Daily, G.; K. Ellison. 2002. The new economy of nature. the quest to make conservation profitable. Washington D.C. USA: Island Press. 260 p.
17. Dardón, S.; C. Morales G. 2002. La cuenca hidrográfica y su importancia para la gestión regional del desarrollo sustentable del altiplano occidental de Guatemala. Centro pluricultural para la democracia (CPD) "Kemb'al Tinimit" miembro del movimiento TZUK KIM POP. 32 p.
18. Di Castri, F.; E. Hajek. 1976. Bioclimatología de Chile. Santiago. Ediciones Universidad Católica de Chile. 128 p.
19. Dourojeanni, A.; A. Jouravlev. 2001. Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua. Santiago, Chile: CEPAL, ECLAC. 83 p.
20. Dudgeon, D.; A. Arthington; M. Gessner; Z. Kawabata; D. Knowler; C. Lévêque; R. Naiman; A. Prieur-Richard; D. Soto; M. Stiassny; C. Sullivan. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*. 81: 132-182.
21. Dugan, D. 1992. Conservación de humedales. Un análisis de temas de actualidad y acciones necesarias. Suiza: UICN. 100 p.
22. European Commission. 2000. Corine land cover 2000 project. Italy. [En línea] <http://image2000.jrc.it/> [28 de septiembre de 2011].
23. FAO. 2008. Intensificación sostenible de la producción como una respuesta al cambio climático en ecosistemas intervenidos. Hacia una estrategia agropecuaria, forestal y acuícola en el contexto de la seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe. [En línea] <<http://www.rlc.fao.org/es/prioridades/recursos/pdf/nota.pdf>> [28 de septiembre de 2010].
24. Foley, J.; R. Defries; G. Asner; C. Barford; G. Bonan; S. Carpenter; F. Chapin; M. Coe; G. Daily; H. Gibbs; J. Helkowski; T. Holloway; E. Howard; C. Kucharik; C. Monfreda; J. Patz; I. Prentice; N. Ramankutty; P. Snyder. 2005. Global consequences of land use. *Science* 309: 570-574.
25. Francke, S. 2002. Manejo integral de cuencas hidrográficas. Corporación Nacional Forestal. Presentación Seminario-Taller "Manejo ambiental de cuencas". Santiago, Chile. [En línea]. <<http://www.paot.org.mx/centro/temas/agua/agua-colmex/Foro/Tematico/C2/C2p/PpSamuelFranke.pdf>>
26. Gómez, D. 2002. Ordenamiento territorial. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 704 p.
27. Gonzalez, F. 1981. Ecología y paisaje. H. Blume. Madrid, España. 256 p.
28. Gunderson, L.; C. Holling; L. Pritchard; G. Peterson. 2002. Resilience of large-scale resource systems. In: Gunderson, L. H. & L. Pritchard Jr. Resilience and the behavior of large-scale systems. Washington D. C. USA: Island Press. p. 3-20.
29. Hubber, A.; A. Iroumé; J. Bathurst. 2008. Effect of *Pinus radiata* plantations on water balance in Chile. *Hydrological Process* 22: 142-148.
30. Ibarra, P. 1993. Una propuesta metodológica para el estudio del paisaje integrado. *Geographica*. 30: 229-242.
31. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2002. Censo de población y vivienda año 1960, 1970, 1982, 1992 y 2002 según país, región de la Araucanía, provincias y comunas. Gobierno de Chile. Información digital. *Annual Review of Environment and Resources*. 28: 205-241.
32. Jiménez, Y.; L. Porcel. 2008. Metodología para el estudio evolutivo del paisaje: aplicación al espacio protegido de sierra nevada. *Cuadernos geográficos*. 43: 151-179.
33. Kusler, J.; W. Mitsch; J. Larson. 1994. Humedales. *Investigación y Ciencia*. 210: 6-13.
34. Lambin E.; H. Geist; E. Lepers. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical. *Regions*. *Global Environmental Change*. 11: 261-269.

35. Lara, A.; C. Little; R. Urrutia; J. McPhee; C. Álvarez-Garretón; C. Oyarzun; D. Soto; P. Donoso; L. Nahuelhual; M. Pino; I. Arismendi. 2009. Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. *Forest Ecology and Management*. 258: 415-424.
36. Mardones, M.; L. Gonzalez; M. Rondanelli; C. Valdovinos; J. Vargas. 2005. Efectos geoecológicos y ambientales de la dinámica geomorfológica e hidrológica de la Hoya del Río Aysén. Proyecto FONDECYT 1050576.
37. Moizo, P. 2004. La percepción remota y la tecnología SIG: una aplicación en ecología del paisaje. *Geofocus*. 4: 1-24.
38. Monedero, C. 1996. Esquema operativo de evaluación ecológica empleando la vegetación como componente ambiental clave como referencia especial al caso Venezolano. *Interciencia*. 21(4): 208-215.
39. Montalvo, T. 1988. El agua, factor de desarrollo valenciano. En: *Análisis de las características hidráulicas y agronómicas de las instalaciones de riego en la Comunidad Valenciana*. Presidencia de la Generalitat Valenciana, p. 39-56.
40. Muñoz, J. 1998. Paisaje y geosistema: una aproximación desde la Geografía Física. *Paisaje y Medio Ambiente*. Universidad de Valladolid - Grupo ENDESA - Fundación Duques de Soria. Valladolid, España. p. 9-28.
41. Nagendra, H.; D. Munroe; J. Southworth. 2004. From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 101: 111-115.
42. Ojeda, F. 1998. Estado actual de la diversidad biológica en Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 71: 117-120.
43. Paegelow, M.; M. Camacho; J. Toribio. 2003. Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. *Geofocus*. 3: 22-44.
44. Peña-Cortés, F.; M. Mardones. 1999. Planificación ecológica del curso inferior del Río Itata. VIII Región Chile. *Revista Geográfica de Chile. Terra Australis*. 44: 45-62.
45. Peña-Cortés, F.; C. Bertran; R. Schlatter; E. Hauenstein; T. Duran; T. Tapia. 2005. Proyecto FONDECYT 1030861 "Análisis integrado del borde costero de la IX Región. Propuestas y criterios para la planificación ecológica de sus humedales". Informe de avance, año 2, Temuco, Chile. 281 p.
46. Peña-Cortés, F.; P. Gutiérrez; G. Rebolledo; M. Escalona; E. Hauenstein; C. Bertrán; R. Schlatter; J. Tapia. 2006. Determinación del nivel de antropización de humedales como criterio para la planificación ecológica de la cuenca del lago Budi, IX Región de La Araucanía, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*. 36: 75-91.
47. Peña-Cortés, F.; G. Rebolledo; K. Hermosilla; E. Hauenstein; C. Bertrán; R. Schlatter; J. Tapia. 2006. Dinámica del paisaje para el periodo 1980-2004 en la cuenca costera del Lago Budi, Chile. Consideraciones para la conservación de sus humedales. *Ecología Austral*. 16: 183-196.
48. Peña-Cortés, F.; C. Ailio; P. Gutiérrez; M. Escalona-Ulloa; G. Rebolledo; J. Pincheira-Ulbrich; D. Rozas; E. Hauenstein. 2008. Morfología y dinámica dunaria en el borde costero de la región de La Araucanía en Chile. Antecedentes para la conservación y gestión territorial. *Revista de Geografía Norte Grande*. 41: 63-80.
49. Peña-Cortés, F.; M. Escalona-Ulloa; G. Rebolledo; J. Pincheira-Ulbrich; O. Torres-Álvarez. 2009. Efecto del cambio en el uso del suelo en la economía local: una perspectiva histórica en el borde costero de La Araucanía, Sur de Chile. En: *Confalonieri, U.; M. Mendoza; L. Fernández (eds.). Efecto de los cambios globales sobre la salud humana y la seguridad alimentaria*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Publicado por RED CYTED 406RT0285. Buenos Aires, Argentina. p. 184-197.

50. Peña-Cortés, F.; J. Pincheira-Ulbrich; C. Bertrán; J. Tapia; E. Hauenstein; E. Fernández; D. Rozas. 2011. A study of the geographic distribution of swamp forest in the coastal zone of the Araucanía Region, Chile. *Applied Geography*. 31(2): 545-555.
51. Postel, S.; B. Thompson. 2005. Watershed protection: capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum*. 29: 98-108.
52. Prieditis, N. 1999. Status of wetland forests and their structural in Latvia. *Environmental Conservation*. 26(4): 332-346.
53. Ramírez, C.; C. San Martín; J. San Martín. 1996. Estructura florística de los bosques pantanosos de Chile sur-central. In: Armesto, J.; C. Villagrán; M. Kalin-Arroyo (Eds.). *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Santiago, Chile: Editorial Universitaria. p. 215-234.
54. Ramsar. 2007. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales. Secretaría de la Convención de Ramsar. Gland Suiza. [En línea]. <http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-pubs-handbooks/main/ramsar/1-30-33_4000_2__> [28 de septiembre de 2011].
55. Rodrigues, S. 2002. Impacts of human activity on landscapes in Central Brazil: a case study in the Araguari Watershed. *Australian Geographical Studies*. 40(2): 167-178.
56. Romero, C. 2002. Metodología para la planificación y desarrollo sostenible en espacios naturales protegidos europeos: las zonas de especial protección para las aves. *GeoFocus* 2: 1-32.
57. Sala, O.; F. Chapin; J. Armesto; E. Berlow; J. Bloompeld; R. Dirzo; E. Huber-Sanwald; L. Huenneke; R. Jackson; A. Kinzig; R. Leemans; D. Lodge; H. Mooney; M. Oesterheld; N. Leroy; M. Sykes; H. Walker; M. Walker; D. Wall. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774.
58. Saunders, D.; R. Hobbs; C. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*. 5(1): 18-32.
59. Siegel, S.; N. Castellan. 1988. *Nonparametrics statistics for the behavioral sciences*. 2nd ed. New York: McGraw & Hill Book Company. 400 p.
60. Sociedad Chilena de las Ciencias del Suelo. 2001. Realidad y proyectos de la habilitación de suelos mal drenados en el sur de Chile, regiones IX y X. *Boletín N° 17*, p. 21-44.
61. Solecki, W. 2001. The role of global-to-local linkages in land use/land cover change in South Florida. *Ecological Economics*. 37: 339-359.
62. Torrejón, F.; M. Cisternas. 2002. Impacto ambiental temprano en la Araucanía deducido de crónicas españolas y estudios historiográficos. *Bosque*. 24(3): 45-55.
63. Troll, C. 1972. *Geocology of the High-Mountain Regions of Eurasia*. Coronet Books. 299 p.
64. Turner, R.; D. Stanley; D. Brock; J. Pennock; N. Rabalais. 2001. A comparison of independent N-loading estimates for U. S. estuaries. *Coastal and estuarine Studies*. 5: 107-118.
65. Vitousek, P.; H. Mooney; J. Lubchenco; J. Melillo. 1997. Human domination of earth's ecosystems. *Science*. 277: 494-499.
66. Wang, X.; D. Zheng.; Y. Shen. 2008. Land use change and its driving forces on the Tibetan Plateau during 1990-2000. *Catena*. 72: 56-66.
67. Zonneveld, I.; T. Forman. 1989. *Changing landscapes: an ecological perspective*. New York: Springer-Verlag. 286 p.

Agradecimiento

Al proyecto FONDECYT N° 1110798, ejecutado por el Laboratorio de Planificación Territorial de la Universidad Católica de Temuco, Chile. Asimismo, a la Dirección General de Investigación y Postgrado de la Universidad Católica de Temuco, proyecto DGIPUCT N° CD2010-01.