

ANÁLISIS DE CAMBIOS EN LOS PAISAJES DE BOSQUES DE CIPRÉS DE LA CORDILLERA EN EL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE CHUBUT

Francisco Carabelli^{*1}, Horacio Claverie²

1 CONICET-CIEFAP

2 Dirección general de Bosques y Parques de la Provincia de Chubut

RESUMEN

En los bosques andino patagónicos la actividad humana tiene, desde hace poco menos de un siglo, un rol predominante en la modificación del paisaje. En el caso de los bosques de ciprés de la cordillera, los impactos debidos a la presencia humana se manifiestan en un amplio rango de intensidades, desde sectores muy deteriorados hasta zonas donde existen masas boscosas post-incendio con grados leves de antropización. Para este estudio seleccionamos un área con un grado moderado de impacto para analizar los cambios en la heterogeneidad del paisaje forestal entre 1970 y 2001. Utilizamos material proveniente de percepción remota, gran parte del cual fue ortorectificado y posteriormente clasificado distinguiendo parches de ciprés según tres clases de densidad. Los cambios en el período afectaron una superficie de 4400 hectáreas de ciprés. De ellas, 1500 hectáreas (34%) han sufrido impactos en grado variable por incendios forestales o fueron inundadas al represarse el sector que originó el complejo hidroeléctrico Futaleufú, mientras que se han hecho discernibles 2900 hectáreas por crecimiento de árboles jóvenes no discernibles sobre el fotomosaico de 1970 o por establecimiento de regeneración. Esta mayor superficie y una mayor conectividad de los agrupamientos de ciprés en la clasificación de 2001 podrían constituir elementos probatorios que el ciprés ha aumentado la ocupación de su área potencial, que era menor en 1970.

ABSTRACT

Since less than a century human activity on Patagonian Andes native forests has played a major role on landscape modification. As for ciprés forests, impacts owed to human presence vary from deteriorated sectors up to post-fire areas where forests are less disturbed. In this study we selected a moderate-impacted area in order to analyze changes in the forest landscape heterogeneity between 1970 and 2001. We used remote sensing material that was orthorectified and classified recognizing ciprés patches according to three classes of density. Changes in the thirty-year period affected 4,400 hectares of ciprés. Thirty four percent -1,500 hectares- were differentially impacted by forest fires, or flooded by the Futaleufú hydroelectric dam. Meanwhile, 2,900 hectares are now discernible by growth of young trees not visible in the 1970 photomosaic, or due to regeneration recruitment. A larger area and a greater connectivity of ciprés clusters found in the 2001 classification are showing that ciprés has increased the occupation of its potential area, that was comparatively lower in 1970.

INTRODUCCIÓN

Es incuestionable que asistimos a una erosión continua del medio natural, con pérdida de diversidad en los distintos niveles de integración de la vida. El mantenimiento de la biodiversidad y de los principales procesos del ecosistema es la base para el diseño de estrategias de conservación a las escalas regional y predial. Para analizar la heterogeneidad espacial y los cambios de dicha heterogeneidad que pueden influir en la conservación y generación de biodiversidad, la unidad geográfica de estudio debe ser el paisaje (Halffter, 1988), entendido como un sistema territorial compuesto por elementos naturales y elementos antropogénicos socialmente determinados, que se hallan correlacionados entre sí (Sandner, 1991). Dada la influencia extensiva del uso humano sobre la estructura y función del paisaje, no puede considerarse el futuro de cualquier paisaje separado de los seres humanos que lo habitan o manejan.

En el caso de los bosques en la Patagonia Andina de Argentina aquella influencia se ha manifestado principalmente como disturbios, en particular el fuego, el pastoreo en tiempo histórico, y la

urbanización en épocas recientes (Veblen *et al.*, 1992 a, b, Kitzberger *et al.*, 1999; Veblen *et al.*, 1999). En las últimas décadas, la presión de uso sobre estos ecosistemas forestales se ha intensificado. Entre los bosques templados de Sudamérica Austral, que se distribuyen en Argentina con continuidad decreciente hacia el este en su límite con la estepa patagónica (Kitzberger y Gowda, 2005), el ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) es una de las especies arbóreas nativas que ha sido más severamente afectada por la influencia humana.

El ciprés es una especie forestal cuya importancia ecológica superlativa se pone de relevancia cuando se considera su extraordinaria capacidad para prosperar en una dilatada gama de ambientes. En efecto, la especie crece en un amplio rango de sitios, desde suelos profundos y muy húmedos -1600-1700 mm/año de precipitación- al oeste, donde suele formar bosque mixtos cerrados con coihue (*Nothofagus dombeyi*) en el pedemonte cordillerano entre alturas de 1000-500 m.s.n.m, hasta suelos superficiales (o sobre rocas) extremadamente secos al este -500 mm/año-, donde representa el límite arbóreo con la estepa patagónica (Fundación Vida Silvestre Argentina, 1999). Esta especie endémica de los bosques templados fríos de la región andina patagónica de Argentina y Chile, es en el primero de los países mencionados la conífera nativa de mayor dispersión geográfica, siendo posible encontrarla en Neuquén, Río Negro y Chubut desde 40° 02' hasta 43° 37' S., ocupando una superficie de 135.000 hectáreas (Bran *et al.*, 2002).

El desarrollo no planificado de asentamientos humanos que ha incrementado dramáticamente el riesgo de incendios, el cambio de uso para habilitar tierras para el pastoreo de ganado ovino y bovino, el reemplazo por especies exóticas de más rápido crecimiento, el desarrollo agrícola en pequeñas pero numerosas propiedades y la explotación intensiva para el empleo de la madera han reducido la superficie original de los bosques de esta especie (Carabelli *et al.*, 2003). Los estudios orientados a analizar los posibles procesos de fragmentación de la especie demuestran esta merma de la superficie de bosque, debido a la predominancia de cambios en la heterogeneidad del paisaje fundamentalmente “negativos” provocados por el hombre (Carabelli, 2004; Carabelli *et al.*, 2005). Esta reducción se ha manifestado tanto en la disminución neta de superficie como en el aumento del número de parches o fragmentos. En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar los cambios en la heterogeneidad de tierras forestales con bosques de ciprés de la cordillera en un área con un grado moderado de impacto, el Valle 16 de Octubre (42° 38' -43° 34' S, 71° 22' -71° 51' W) entre el límite con Chile al oeste y la localidad de Trevelin al este.

METODOLOGÍA

Como parte del acondicionamiento del material se ortorectificaron las fotos aéreas de la zona de los años 1970 y 1980 y posteriormente se ensamblaron los mosaicos. Previamente se había ortorectificado una imagen SPOT de 4 bandas y de 10 x 10 m de resolución, que fue utilizada como imagen maestra para ortorectificar la totalidad de las imágenes SPOT e IKONOS y fotografías que se utilizaron durante el estudio. Las imágenes Landsat y ASTER que también se emplearon para analizar en gabinete los cambios ocurridos durante el período habían sido georreferenciadas con anticipación a la realización de este trabajo.

La clasificación sobre el fotomosaico consistió en la identificación visual y delimitación de parches para el tipo forestal ciprés según tres clases de densidad: 1) Denso (distancia entre dominantes < 5 m), 2) Semidenso (distancia entre 5 y 10 m), 3) Ralo (distancia > 10 m). Se estableció una Mínima Unidad Cartografiada (MUC) de 2500 m², habiéndose individualizado sólo elementos de superficie mayor a la misma. Para clasificar los bosques de ciprés de la cordillera en el área de estudio sobre la imagen SPOT de 2001 se empleó el menú “Signature editor” del programa ERDAS Imagine 8.4, que permite establecer una colección de firmas espectrales que representan objetos en el terreno. El cálculo de superficies por clases y el análisis de los cambios se realizaron con los programas *Xtools* y *Fragstats*, que funcionan como extensiones del programa ArcView.

En el proceso de comparación de las clasificaciones de bosques de ciprés de la cordillera fue necesario establecer lo más precisamente posible en qué casos las diferencias se debían a problemas inherentes al material propiamente dicho y cuándo las mismas eran producto de un cambio auténtico en el patrón

del paisaje. Debido a esta dificultad establecimos una serie de posibles motivos o “causas” de las diferencias entre clasificaciones: a) Calidad del material fotográfico, b) Error humano de interpretación por inexperiencia o falta de rigor, c) Incorrecta clasificación del ciprés sobre la imagen satelital. Mientras tanto, los cambios principales que *efectivamente* ocurrieron durante el período de 30 años se categorizaron en las clases que se detallan a continuación: 1) Árboles jóvenes, 2) Enmascaramiento de elementos de interés en la matriz, 3) Alteración antrópica que deteriora o elimina el bosque de ciprés, 4) Deterioro “natural” de la especie en sitios muy desfavorables.

RESULTADOS

Los cambios ocurridos que efectivamente modificaron la superficie de bosque de ciprés identificada en 1970 se clasificaron, a los fines de su presentación, en positivos y negativos. En la primera categoría ubicamos la expansión del área original por crecimiento de individuos jóvenes preexistentes o por el establecimiento de regeneración que pudo ser captada en la imagen satelital. Es importante señalar que estas nuevas áreas se delimitaron con cierta arbitrariedad, no discriminando los límites de los parches de ciprés presentes en 2001 sino circunscribiendo un área que los contenía. En rigor, delineamos “zonas de distribución de ciprés” y no la configuración espacial estricta de los parches de ciprés, debido principalmente a la imposibilidad de acceder a los sectores más alejados de los caminos, ubicados en ambientes topográficamente muy abruptos.

Los cambios negativos son aquellos que deterioraron el área original de bosque de ciprés. La entidad del deterioro varía según los casos y el tipo e intensidad del impacto, aunque básicamente se circunscribió a una reducción de la superficie original por desaparición de un sector o por una disminución de la densidad, por ejemplo, cuando un incendio de regular intensidad dejó individuos en pie. No obstante, una combinación de impactos también hace variar la intensidad del deterioro. En el ejemplo anterior, una cubierta forestal degradada por incendio llega a desaparecer cuando los individuos que sobrevivieron son apeados para comercializar su madera.

Los cambios en el período afectaron una superficie de 4.400 hectáreas de bosques de ciprés. De ellas, 1.500 hectáreas (34%) han sufrido impactos en grado variable por incendios forestales o fueron inundadas al llenarse la represa Futaleufú, mientras que se han hecho “visibles” 2.900 hectáreas por crecimiento de árboles jóvenes no visibles en el fotomosaico de 1970 o instalación de regeneración (cuadro 1, fig. 1). Este resultado debe relativizarse en su exactitud, pues existe una componente de incertidumbre para un conjunto de sectores que suma 2.000 hectáreas, donde debido a la calidad del material fotográfico no se puede aseverar si la ocurrencia de bosques jóvenes de ciprés, constatada mediante los controles de terreno, es definitivamente sólo apreciable en las imágenes recientes.

Cuadro 1. Origen y cuantificación de los cambios en los bosques de ciprés de la cordillera ocurridos en el período 1970-2001.

Causa	Sup. (ha)
Árboles jóvenes y enmascaramiento por matriz	900
Árboles jóvenes, enmascaramiento por matriz y calidad de las fotos	2000
Incendios forestales	1350
Eliminación por represa	150
Total	4400

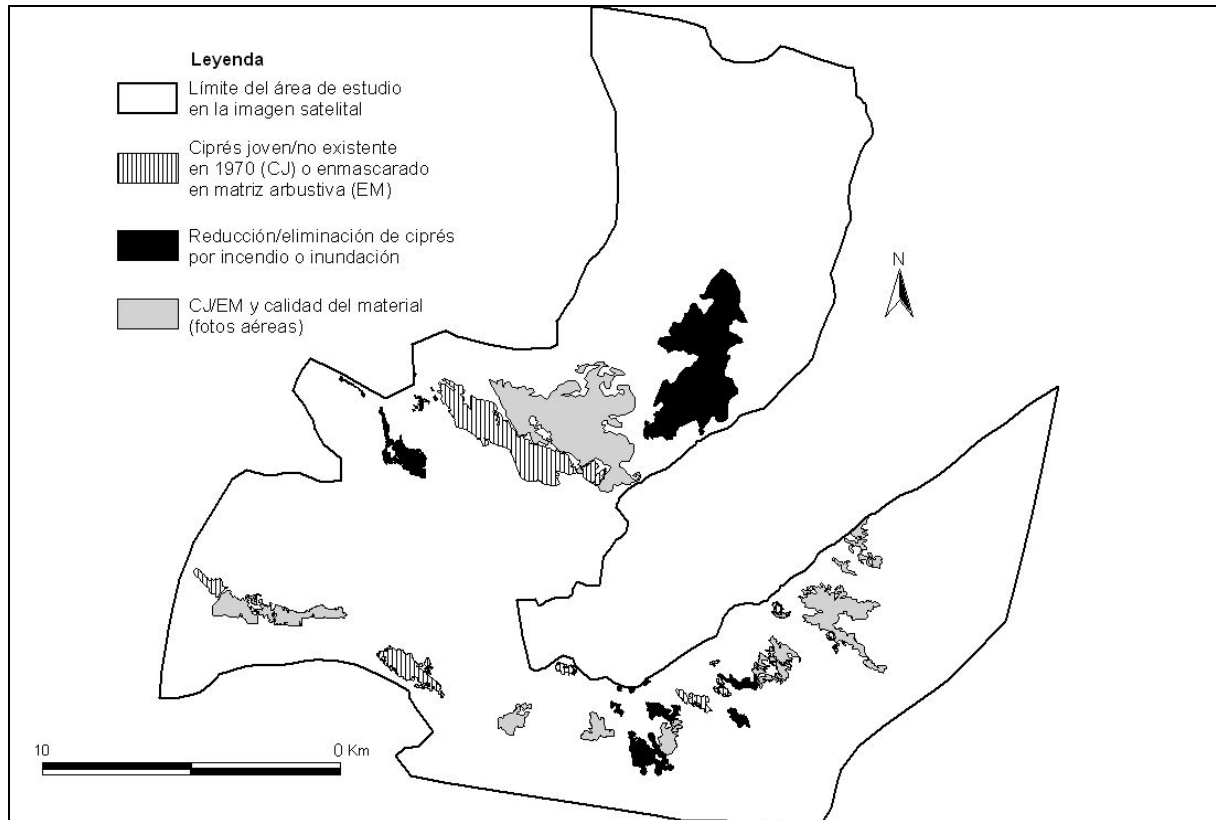


Figura 1. Cambios positivos y negativos en la heterogeneidad de los patrones de paisaje de los bosques de ciprés de la cordillera entre 1970 y 2001.

Para cuantificar los cambios mediante índices (cuadro 2), las clases de densidad de ciprés consideradas sobre el fotomosaico de 1970 se agruparon en una única clase, con la finalidad de poder comparar los valores con la clasificación de 2001, que no fue desagregada en clases.

Cuadro 2. Comparación de índices de cuantificación de la configuración espacial del paisaje forestal en 1970 y 2001.

Índices	1970	2001
Área (ha)	3945	7200
Número de parches	913	1949
Superficie de parche medio -SPM- (ha)	4,87	3,69
Desviación estándar de la SPM (ha)	9,36	41,36
Borde total (km)	1857	5047
Densidad de borde (m/ha)	157	701
Borde del parche medio (m/parche)	2257	2589
Índice de forma media (> 1)	3,12	2,98
Relación perímetro-área media (m/ha)	839	1204

Además del aumento del área total de ciprés y de un incremento (aparente) del número de parches de esta especie en el período transcurrido entre 1970 y 2001, adquiere relevancia la magnitud del aumento del borde total y de la densidad de borde en la clasificación de 2001, que puede atribuirse al aumento tanto del área efectiva de bosques de ciprés como de la cantidad de parches. La superficie del parche medio en 2001 se redujo 25% respecto de la de 1970, pero ello puede deberse a la sensibilidad del algoritmo de clasificación para captar más eficientemente los agrupamientos de ciprés de menor tamaño; ello tendió a aumentar sensiblemente la cantidad de parches en la clase de tamaño más pequeña -de 0,25 ha a 5 ha-, con su correspondiente influencia sobre el valor medio. La diferencia en los valores de desviación estándar del tamaño del parche medio, que se cuadruplica en 2001 respecto

del valor de 1970, radica en el mayor rango entre los extremos de los valores de superficie para la clasificación de 2001 –de 0,25 ha (tamaño mínimo) a 1187 ha (tamaño máximo)- respecto de la clasificación de 1970 –de 0,25 ha (tamaño mínimo) a 154 ha (tamaño máximo)-. Los valores de borde de parche medio, índice de forma media y relación perímetro-área media no presentan diferencias de esta magnitud.

DISCUSIÓN

La calidad del material fotográfico de 1970 representó la restricción más severa para identificar con certeza las áreas con bosque de ciprés de la cordillera en aquel momento y por ello restringió la potencia del análisis comparativo respecto de la superficie y distribución de los bosques de esta especie en 2001. Si bien a título individual no representa la causa de diferencia entre clasificaciones más destacada, su influencia en la calidad de la tarea de interpretación no puede desdeñarse. En efecto, no fue posible discernir, en la categoría “errores de interpretación”, qué proporción era directamente atribuible a una falla del fotointérprete y qué proporción a la calidad del material fotográfico. De la misma manera, asociada con la categoría “ciprés no visible en 1970”, representó el 67% de la superficie donde se manifestaron las diferencias entre clasificaciones. La calidad del material fotográfico suele referirse como un problema cuando se trata de distinguir tipos de uso de la tierra o de coberturas de la tierra para analizar cambios temporales en el paisaje (Dunn *et al.*, 1991, Chuvieco, 2000, p. 471-482). Los mismos autores señalan que la detección de los cambios usando fotos aéreas es altamente demandante de tiempo, tediosa e incómoda. Nuestra experiencia al respecto no constituyó una excepción, aunque la comprobación más destacada es la significativa diferencia en el costo de clasificación por hectárea de bosque de ciprés, que fue casi veinte veces superior con respecto al costo sobre la imagen satelital (2,8 pesos/ha vs. 0,15 pesos/ha).

Un aspecto destacado de este estudio fue la comprobación de la ampliación de la superficie de ciprés de la cordillera debido al crecimiento de árboles jóvenes que no eran discernibles sobre el fotomosaico de 1970, independientemente de la calidad del material, o bien que no existían entonces. En efecto, tales cambios representaron el 66% del área global con bosques de ciprés de la cordillera que efectivamente se modificó durante el período entre análisis. Esa misma área, de 2900 hectáreas, equivale a su vez a 73% del bosque de ciprés identificado en 1970 y es casi equivalente (95%) a la magnitud del incremento en superficie entre ambos años de análisis. Otra comprobación importante se refirió a las implicancias de uno de los cambios considerados negativos, los incendios forestales, pues si bien afectaron una porción amplia del área de estudio -1500 hectáreas- el bosque no desapareció por completo ni siquiera como consecuencia de extracciones forestales posteriores a los incendios. Durante los controles de terreno pudimos apreciar que las circunstancias de estrés intenso como el que genera un incendio no deterioraron tan gravemente las masas de ciprés, al punto que pudieron regenerar, propiciando un cubrimiento parcial de las áreas afectadas. Por este motivo, el área afectada por incendios no es una superficie donde el bosque de ciprés ha desaparecido aunque sí se redujo la superficie y la continuidad de las formaciones originales. No obstante, la clasificación efectuada sobre la imagen captó tanto los árboles sobrevivientes como la regeneración posterior y por ello la cuantificación de las superficies de ciprés en 2001 ha tenido en cuenta esta circunstancia.

En consonancia con lo anterior es también posible comprobar en la clasificación de 2001 una mayor conectividad de los agrupamientos de ciprés respecto de 1970. Ello puede deberse a varias razones, dos de las cuales son las siguientes: la primera de ellas es la sensibilidad del algoritmo de clasificación para captar las firmas espectrales que corresponden a ciprés comparado con la capacidad de discriminación visual del fotointérprete sobre las fotos aéreas de rasgos del paisaje que efectivamente correspondan al tipo de elemento ciprés. La segunda es el aumento comprobable de la superficie de bosque de ciprés por crecimiento de la regeneración con porte arbustivo en 1970, que se instaló posteriormente o bien por árboles adultos muy aislados que no fueron clasificados en la clase rala sobre el fotomosaico pues no cumplían con el requisito de distanciamiento y, no obstante ello, posibilitaron la regeneración que en el presente ha reconectado sectores que originalmente albergaban bosques más densos de ciprés. Esta aparente “reconexión” brinda un punto de apoyo a una escala de detalle para sostener una hipótesis de Kitzberger y Gowda (2004), quienes analizaron el paisaje andino-patagónico para delinear estructuras y modelos de rango potencial para ciprés, lenga, coihue y

matorral en la cuenca del lago Cholila sobre un sector de casi 174.000 hectáreas. Estos autores determinaron primeramente que el ciprés es un tipo de bosque que presenta poco contacto con otros para seguidamente sugerir que, a pesar de su alta fragmentación, en el momento presente se encuentra posiblemente en un proceso de coalescencia inducido por una menor frecuencia de fuegos, reemplazando principalmente a matorrales. Si bien no disponemos de un registro prolongado de la ocurrencia de incendios, es notable la capacidad de recuperación que manifestó la especie en los sectores afectados por fuego durante el período de análisis de 30 años, sumado a la expansión de otras áreas previamente (antes de 1970) afectadas por la misma causa. Se pone así de manifiesto que el ciprés ha aumentado la ocupación de su área potencial en el período de 30 años involucrado en el análisis.

Otra circunstancia que es menester destacar es una mejora manifiesta del grado de detalle de la clasificación inherente a la superficie y distribución de los bosques de ciprés de la cordillera en el área de estudio que se suma a un producto semejante generado para un sector importante del área de distribución de la especie en la región de Epuyén, en el noroeste de la provincia de Chubut (Carabelli, 2004). En efecto, la escala cartográfica "natural" de la clasificación de 2001 es 1:50000, pues de acuerdo con la Asociación Cartográfica Internacional es la escala límite más idónea para cartografía obtenida a partir de imágenes SPOT (Chuvieco 2000, p. 152). Hasta ahora, la cartografía de mayor detalle disponible para los bosques de esta especie era de 1:250.000 (Bran et al. 2002), si bien esta última tiene la ventaja que se efectuó para toda el área geográfica de distribución de la especie.

REFERENCIAS

- Bran D., A. Pérez, D. Barrios, M. Pastorino, J. Ayesa. 2002. Eco-región valdiviana: distribución actual de los bosques de "ciprés de la cordillera" (*Austrocedrus chilensis*) - escala 1:250.000. Informe Preliminar. INTA-APN-FVSA. 12 p.
- Carabelli F. 2004. Quantitative analysis of forest fragmentation in Patagonia, Argentina. En: *Proceedings of the IUFRO 2004 International Workshop on Landscape Ecology: Conservation and Management of Fragmented Forest Landscapes*, Tsukuba, Ibaraki, Japan, 83-87.
- Carabelli F., H. Claverie, M. Jaramillo, I. Orellana, M. Gómez, R. Scoz. 2005. Anthropic changes of forest landscapes in the Patagonian Andes of Argentina. Workshop on Fragmentation of Native Forests in Argentina. In: *Mitteilungen der Abteilung für Forstliche Biometrie 3. En prensa.*
- Carabelli F., M. Jaramillo, S. Antequera. 2003. Cambios en la heterogeneidad del bosque nativo en la Patagonia Andina de Argentina y su impacto sobre la biodiversidad en los sectores de borde. *Cuadernos de Biodiversidad* (14):10-15.
- Chuvieco E. 2000. Fundamentos de Teledetección espacial. 3ra. edición revisada. Ed. RIALP. Madrid.
- Dunn C. P., D. M. Sharpe, G. R. Guntenspergen, F. Stearns, Z. Yang. 1991. Methods for Analyzing Temporal Changes in Landscape Pattern. En: Turner M. G., R. H. Gardner (Ed.). *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Ecological Studies, Vol. 82:173-198.
- Fundación Vida Silvestre Argentina. 1999. Mapeo de la ecoregión de los bosques valdivianos. *Boletín Técnico* N° 51. 27 p.
- Halfpeter G. 1998. A strategy for measuring landscape biodiversity. *Biology International* 36: 3-17.
- Kitzberger T., T.T. Veblen. 1999. Fire-induced changes in northern Patagonian landscapes. *Landscape Ecology* 14: 1-15.
- Kitzberger T., J. Gowda. 2004. Análisis del paisaje andino patagónico. Estructura y modelos de rango potencial. Workshop on Fragmentation of Native Forests in Argentina. In: *Mitteilungen der Abteilung für Forstliche Biometrie 3. En prensa.*
- Sandner E. 1991. Raumgliederung und Landschaftseinheiten. Informe inédito. 7 p
- Veblen T.T., T. Kitzberger, A. Lara. 1992a. Disturbance and vegetation dynamics along a transect from rain forest to Patagonian shrublands. *Journal of Vegetation Science* 3: 507-520.
- Veblen T.T., M. Mermoz, C. Martin, T. Kitzberger. 1992b. Ecological impacts of introduced animals in Nahuel Huapi National Park, Argentina. *Conservation Biology* 6: 71-83.
- Veblen T.T., T. Kitzberger, R. Villalba, J. Donnegan. 1999. Fire history in northern Patagonia: the roles of humans and climatic variation. *Ecological Monographs* 69: 47-67.