

EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE LA COBERTURA DEL BOSQUE SECO CHAQUEÑO EN EL MUNICIPIO DE TOROTORO Y EN EL PARQUE NACIONAL TOROTORO (POTOSÍ, BOLIVIA), MEDIANTE TELEDETECCIÓN

EVALUATION OF THE LOSS OF THE CHAQUEÑO DRY FOREST COVERAGE IN TOROTORO'S MUNICIPALITY AND IN TOROTORO NATIONAL PARK (POTOSÍ, BOLIVIA), THROUGH REMOTE SENSING

Francisco E. Fontúrbel¹

Resumen

Se evaluó la pérdida de la cobertura vegetal del bosque seco chaqueño del Parque Nacional Torotoro (Potosí, Bolivia) y del Municipio de Torotoro (donde el primero está incluido en su totalidad) mediante teledetección. Se trabajó con dos imágenes de satélite, una Landsat 5 TM de 1990 y una Landsat 7 ETM+ de 2001, ambas imágenes fueron corregidas geométricamente, se aplicó un índice normalizado de vegetación y se realizó una clasificación supervisada, distinguiendo las categorías “bosque” y “matriz”. Las clasificaciones fueron ajustadas al perímetro del Parque Nacional y del Municipio en ArcView, convertidas a formato vectorial y se corrió un análisis de fragmentos para obtener las métricas de paisaje, borde, forma, distancia y área núcleo. Los resultados muestran un incremento de 6 ha para el PNNT, pero una pérdida de 6 449 ha del bosque seco en el Municipio entre 1990 y 2001. A pesar de no encontrarse diferencias significativas en el área total, se observa una tendencia de reducción del área promedio del parche y un incremento del número de parches entre 1990 y 2001. Si bien la tasa anual de deforestación es relativamente baja (~2% anual), la fragmentación y pérdida gradual del hábitat boscoso son un factor de amenaza a largo plazo para la conservación de la biota asociada a este bosque.

Palabras clave: Parque Nacional Torotoro, Potosí, teledetección, análisis de fragmentos, conservación

Abstract

Vegetation coverage of chaqueño dry forest in Torotoro National Park (Potosí, Bolivia) and Torotoro Municipality (which includes the National Park) was evaluated using remote sensing. I worked with two satellite images, a Landsat 5 TM from 1990 and a Landsat 7 ETM+ from 2001, both images were geometrically corrected, a normalized vegetation index was applied and a supervised classification was performed to distinguish “forest” from “matrix” categories. Classifications were fitted to the National Park's and Municipality's perimeters in ArcView, converted into vector format and a fragment analysis was performed in order to determine landscape, edge, shape, distance and core area metrics. Results show that 6 449 hectares of dry forest were lost from the forest in Municipality's area between 1990 and 2001, despite the fact that no total area significant differences were found, a clear tendency of average patch area reduction and an increase of patch numbers is evident between 1990 and 2001. Although yearly deforestation rates were relatively low (~2% per year), forest habitat fragmentation and loss are a long-term threat to conservation of the biota associated with this forest.

Keywords: Torotoro National Park, Potosí, remote sensing, fragment analysis, conservation

Introducción

La fragmentación y la pérdida del hábitat son dos de los problemas ambientales más importantes en la actualidad (Saunders *et al.*, 1991; Caughley, 1994; Groom *et al.*, 2005) y constituyen dos de las principales causas de modificación y pérdida de la biodiversidad a nivel global, regional y local (Lindenmayer *et al.*, 1999; Chapin III *et al.*, 2000; Sala *et al.*, 2000). Estos procesos, aunque diferentes, están relacionados entre sí y generan cambios en la calidad del hábitat y de los recursos (Dias, 1996;

Lindenmayer & Fischer, 2006), afectando en mayor medida a aquellos organismos especialistas de un determinado tipo de ambiente (Dias, 1996; Heino & Hanski, 2001), y que dependen de una determinada estructura boscosa (Lindenmayer, 2000).

Los patrones espaciales relacionados con la fragmentación y la pérdida del hábitat pueden analizarse mediante técnicas de teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que son herramientas poderosas para el estudio a nivel de parche y de paisaje (Pauchard *et al.*, 2006), porque

permiten obtener métricas que dan cuenta del cambio en tiempo y/o espacio, de área, borde, forma y área núcleo, entre otras (Hargis *et al.*, 1998). Estudios similares usando estas herramientas, han sido realizados por Wilson *et al.* (2005) y Echeverría *et al.* (2006) en los bosques templados de Chile, usando imágenes de satélite y análisis de cambios de cobertura en el tiempo, y por Hargis *et al.* (1999) en Utah (EEUU) para estudiar el efecto de la fragmentación sobre *Martes americana*.

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de Bolivia, y entre ellas el Parque Nacional Torotoro (PNTT), presentan problemas de fragmentación y pérdida de hábitat a diferentes niveles. El PNTT fue creado en 1989 por iniciativa de una organización privada, la Asociación Conservacionista de Torotoro (ACT), que en función a un relevamiento integral de los aspectos biológicos y espeleológicos del área, promovió su declaración como ANP, y en 1997 pasó a la administración estatal. A pesar que el PNTT es un ANP de particulares características biológicas y geológicas (Torrico & Lara, 2000), con valores naturales únicos en el mundo y un elevado nivel de endemismo, son muy pocos los estudios científicos que se han llevado a cabo en él (e.g., Pouilly & Miranda, 2003 en peces; Pitter & Christiansen, 1997; Herzog & Kessler, 2002 en aves; Richard *et al.*, 2006 en carnívoros).

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la fragmentación y pérdida de la cobertura del bosque seco chaqueño a nivel de paisaje, en un lapso de 11 años (entre 1990 y 2001) en el PNTT y el Municipio de Torotoro, usando técnicas de análisis espacial a partir de imágenes de satélite. Este es el primer estudio de evaluación de cobertura boscosa que se realiza mediante teledetección en el PNTT y en el Municipio de Torotoro. Se tomó en cuenta también al Municipio como unidad de estudio, de acuerdo a la propuesta de administrar todo el territorio municipal bajo régimen de protección (García-Crispieri *et al.*, 2006a; Richard *et al.*, 2006).

Como hipótesis de trabajo se plantea que habrá una menor pérdida de bosque y la fragmentación en el área bajo régimen de protección (PNTT) que en el área circundante (Municipio). En particular, se espera que haya una: (1) mayor pérdida de superficie forestal y fragmentación del bosque en el Municipio que en el PNTT, (2) mayor área núcleo, y que los parches sean más numerosos, de mayor tamaño, más conectados y de formas más regulares en el PNTT que en el Municipio.

Material y métodos

Área de estudio

El PNTT es un ANP ubicada al norte del Departamento de Potosí (Bolivia, 65°53' – 65°44', 65°46' – 65°40' LW y 18°07' – 18°14', 18°01' – 18°09' LS, SERNAP, 2000). Se encuentra incluido en su

totalidad en el Municipio de Torotoro (Figura 1) y tiene una superficie de 166 km² (SERNAP, 2000). Biogeográficamente corresponde a las Provincias de Puna (zona de montaña) y Boliviano-Tucumana (zona de Chaco), de acuerdo con la clasificación de Navarro & Maldonado (2002). Presenta un gradiente altitudinal de los 1 900 a los 3 600 m (Torrico & Lara, 2000).

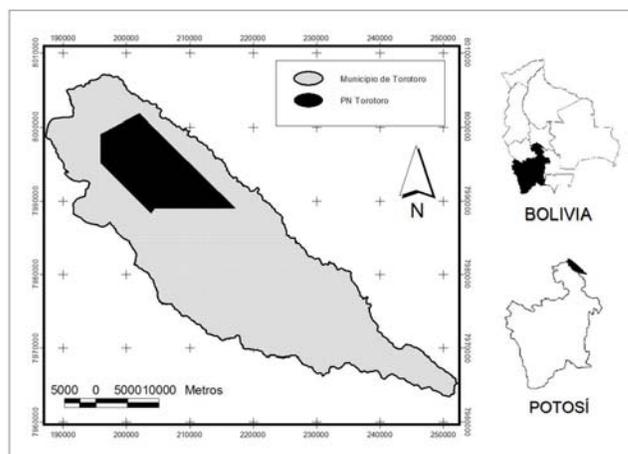


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Torotoro presenta una riqueza de vertebrados, que comprende 105 especies registradas de aves (4 de ellas endémicas), 12 especies de mamíferos, 2 de reptiles, 3 de anfibios y una de peces, que es endémica del Parque (Torrico & Lara, 2000). A pesar de estar bajo un régimen de protección estatal, el PNTT se encuentra bajo una elevada influencia antrópica, ocasionada principalmente por la apertura de caminos, la presencia de centros poblados y una diversidad de actividades agropecuarias (García-Crispieri *et al.*, 2006b).

La ampliación de la frontera agrícola es la principal causa de deforestación, pero ésta no ha sido cuantificada y es necesario evaluar los potenciales impactos que presenta sobre la biodiversidad. Actualmente existen 11 centros poblados al interior del PNTT, con unas 1200 personas, y otros 30 centros poblados en la zona de influencia, con 10 535 habitantes (García-Crispieri *et al.*, 2006b), los que llevan a cabo prácticas agrícolas (principalmente se cultiva maíz) de autoconsumo y con fines comerciales, y prácticas pecuarias relacionadas al pastoreo y cría de ganado vacuno y caprino.

Datos, procesamiento de imágenes y clasificación

Las imágenes se obtuvieron de forma gratuita de la página Web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS: <http://glovis.usgs.gov/>). La primera imagen usada fue una Landsat 5 TM tomada el 22 de Abril de 1990, con una resolución espacial de 28 m. La segunda imagen usada fue una Landsat 7 EMT+

del 2 de Agosto de 2001 con una resolución espacial de 14 m (el que ambas imágenes tengan diferente resolución espacial no afecta el análisis posterior porque la grilla de trabajo se definió para 28 m de resolución). Cada una de las imágenes fue compuesta en una única imagen multibanda mediante ERDAS IMAGINE versión 8.4 (de aquí en adelante, ERDAS). Posteriormente, se recortó el área de interés y se realizó una corrección geométrica de cada una de las imágenes en ERDAS mediante un modelo polinomial de segundo orden (Chuvieco, 1996).

Se realizó un realce espacial en ambas imágenes mediante ERDAS, usando un índice normalizado de vegetación (NDVI) para resaltar las áreas cubiertas de bosque de la superficie descubierta, obteniéndose imágenes pancromáticas en las que la vegetación (bosque) resalta en colores claros y el terreno sin vegetación contrasta en negro y grises. Sobre estas imágenes realizadas, se definieron las firmas espectrales correspondientes a dos clases de cobertura como “bosque” y “matriz” (bosque correspondía a toda el área de bosque seco mientras que matriz correspondía al resto del territorio desprovisto de vegetación boscosa, independientemente de su naturaleza). Posteriormente se realizó una clasificación supervisada en ERDAS para ambas imágenes. Las imágenes temáticas obtenidas de la clasificación fueron transformadas a formato vectorial (en formato *shapefile*) mediante ArcView GIS 3.2a (de aquí en adelante ArcView).

A partir de las imágenes vectoriales generadas en ArcView, las áreas correspondientes al Municipio y al PNTT fueron recortadas mediante la extensión de geoprocursos de ArcView. Posteriormente se realizó un proceso de “disolución” mediante la extensión de geoprocursos para simplificar polígonos adyacentes de una misma clase en un solo polígono, a fin de generar una cobertura vectorial temática de mayor calidad.

Análisis de fragmentos y métricas de paisaje

Las coberturas vectoriales simplificadas obtenidas en ArcView fueron transformadas a formato de grilla (*grid*) mediante la extensión de análisis espacial (Spatial Analyst 1.1a) con una dimensión de píxel de 28 m para las coberturas del PNTT y del Municipio. Las coberturas de grilla fueron utilizadas para el análisis de fragmentos, empleando el módulo Fragstats de la extensión Patch Analyst 3.0 para ArcView (Rempel, 2006), en base a los criterios planteados por Hargis *et al.* (1998) y Pauchard *et al.* (2006). Para cada uno de los cuatro casos (combinaciones año-área) se registraron las siguientes métricas en función a las clases definidas:

- 1) Métricas de paisaje: área de la clase (i.e., bosque, matriz), área total del paisaje, porcentaje del paisaje que ocupa cada clase, número de parches de cada clase, tamaño promedio de los parches, coeficiente de variación del tamaño de parche,

desviación estándar del tamaño de parche. Estas variables proporcionan información acerca de la estructura espacial del paisaje.

- 2) Métricas de borde: borde total y densidad de borde (borde por unidad de área).
- 3) Métricas de forma: índice de forma promedio, índice de forma ponderado por el área, dimensión fractal promedio del parche, dimensión fractal ponderada por área. Mientras más elevados son los índices de forma los parches son más diferentes de la forma circular, y mientras mayor es la dimensión fractal, mayor es la irregularidad del parche. La ponderación por área compensa la diferencia de tamaño de los parches.
- 4) Métricas de distancia: distancia promedio al parche vecino más cercano, índice de proximidad promedio, las que proporcionan información de proximidad entre parches, que puede utilizarse como una medida relativa de conectividad.
- 5) Métricas de área núcleo: área núcleo total (se entiende por área núcleo al área remanente al interior de un parche, descontando el área de borde), densidad del área núcleo, desviación estándar del área núcleo, coeficiente de variación del área núcleo e índice total del área núcleo. Estas variables proporcionan información acerca del área remanente al interior de cada clase, que no estaría afectada por el efecto de borde (Murcia, 1995), se utilizó un valor de 100 m de borde en todos los casos.

La información obtenida mediante teledetección y sistemas de información geográfica se analizó y contrastó con los datos de trabajo de campo realizado entre Octubre y Diciembre de 2005 en el área de estudio. Se tomaron en cuenta diferencias de cobertura en zonas puntuales, incremento del número de parches, cambio de la forma y distancia al parche vecino más próximo, y la variación del área núcleo.

Interpretación de resultados y estimación de la tasa de deforestación

Los valores obtenidos del análisis de fragmentos para 1990 y 2001, del área total del bosque y del área núcleo del bosque, tanto para el PNTT como para el Municipio, fueron contrastados estadísticamente mediante una prueba t de Student mediante SPSS 11.5 (SPSS, 2002), utilizando un nivel de confianza del 95% en todos los casos. La normalidad fue probada mediante una prueba Kolmogorov-Smirnov ($P > 0.05$ en todos los casos) y la homoscedasticidad mediante una prueba de Bartlett ($P > 0.05$ en todos los casos).

Se elaboró una matriz de cambio para la clase “bosque”, para el PNTT y para el Municipio de Totoro, para cada métrica se restó el valor obtenido para 2001 del valor obtenido para 1990 (se excluyeron los valores de coeficiente de variación y desviación estándar). La tasa de deforestación anual se estimó empleado la siguiente fórmula, de elaboración propia,

en base a criterios obtenidos de Wilson *et al.* (2005), Echeverría *et al.* (2006) y Pauchard *et al.* (2006):

$$TD = \frac{C_0 - C_t}{t} * 100\%$$

Donde: TD = tasa de deforestación anual, C_0 = cobertura al tiempo inicial, C_t = cobertura al tiempo t , y t = tiempo transcurrido entre 0 y t . Se emplearon los criterios de Pauchard *et al.* (2006) para la interpretación de las métricas de paisaje.

Resultados

Para el PNNT, entre 1990 y 2001 hubo un incremento de 6.11 ha de bosque (Figura 2). Además, el área núcleo incrementó en 9.41 ha, y el número de parches de 757 a 820, en tanto el área promedio del parche se redujo en 0.09 ha. En 11 años el borde se redujo en 784 m, sin embargo, el índice de borde prácticamente no cambió. Las métricas de distancia y forma no variaron significativamente en el tiempo (Tabla 1).

los fragmentos de 1990 a 2001, tanto para el PNNT ($P = 0.99$) como para el Municipio de Torotoro ($P = 0.96$), ni tampoco para el área núcleo del PNNT ($P = 0.95$) ni del Municipio ($P = 0.45$). La tasa de deforestación calculada para el Municipio de Torotoro fue de un 1.90% anual, mientras que para el PNNT fue de -0.05% anual. La matriz de cambios elaborada (Tabla 3) resume los cambios registrados entre 1990 y 2001, para el bosque seco chaqueño en el PNNT y en el Municipio de Torotoro.

Discusión

Se presentan por primera vez datos a nivel de paisaje del cambio de la cobertura boscosa en el área de estudio, puesto que a pesar que el PNNT está bajo jurisdicción del Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP) de Bolivia, y que el Municipio cuenta con una Oficialía Mayor de Medio Ambiente, el tema de la deforestación no se ha tratado desde una perspectiva cuantitativa y analítica.

Los datos obtenidos mostraron un cambio en la cobertura boscosa entre 1990 y 2001, a pesar de no ser

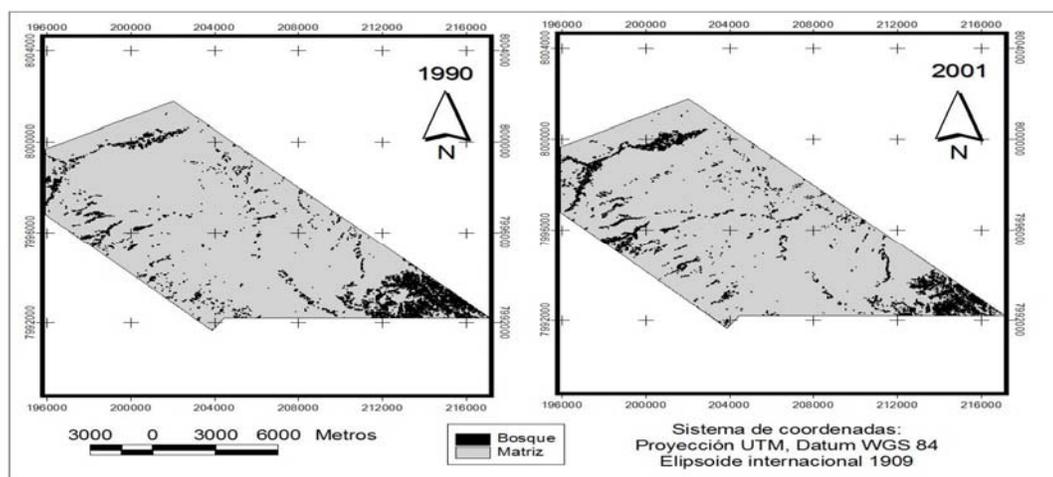


Figura 2. Coberturas de bosque y matriz del Parque Nacional Torotoro para 1990 y 2001, elaboradas a partir de una clasificación supervisada de imágenes Landsat.

En el Municipio de Torotoro, entre 1990 y 2001 hubo una pérdida de 6 448.95 ha de bosque (Figura 3). El área núcleo se redujo en 6 132.84 ha, el número de parches incrementó de 9 322 a 9 600, y el área promedio del parche se redujo en 0.77 ha (Tabla 2). En 11 años, el borde y la densidad de borde muestran poca variación, al igual que la dimensión fractal y el índice de forma, sin embargo, el cambio es significativo cuando este último índice es ponderado por el área. A pesar que se observa un cambio de 26.71 m en la distancia al parche vecino más cercano, el índice de proximidad promedio cambió de 391.91 a 88.76.

Los análisis estadísticos elaborados, indicaron que no hubo diferencias significativas entre el área total de

estadísticamente significativo, tanto para el PNNT como para el Municipio de Torotoro. Si bien la tasa de deforestación calculada para el PNNT es negativa (-0.05% anual) y prácticamente no hay cambios a nivel de forma y geometría fractal, resulta prematuro y arriesgado hablar de una regeneración del bosque en el área. Los resultados sugieren que las acciones de protección dentro del PNNT reducen la pérdida y fragmentación del bosque seco, en comparación a la situación observada para el área circundante (el resto del Municipio de Torotoro).

En la Figura 2 es posible apreciar un incremento en la cobertura boscosa en la parte norte del PNNT, correspondiente al Cañón Garrapatal, área de difícil acceso donde la presión antrópica ha disminuido por

el cambio en las actividades productivas de las poblaciones cercanas (Fontúrbel, observación personal), pero hacia el sudeste del área, en la zona correspondiente a Kuñurani (donde se encuentra la mayor parte del bosque seco chaqueño y mejor conservado del PNNT), sí se observa una reducción y una fragmentación de la cobertura boscosa. Si bien el área total de bosque no varía significativamente, existe un cambio en la configuración espacial del paisaje, que se evidencia en el incremento del número de parches (de 757 a 820) y la reducción del área individual de éstos (de 1.28 ha a 1.19 ha), sugieren un proceso de fragmentación del bosque seco.

Para el caso del Municipio de Torotoro, la tasa de pérdida anual del bosque de ~2% (unas 708 ha por año, que representa un 4.20% del área del PNNT) y una pérdida de 6448,95 ha en 11 años, además del incremento del número de fragmentos de bosque (de 9 322 a 9 600), la disminución del área promedio (de 3,31 ha a 2,53 ha), la disminución del área núcleo (de 18 328.51 ha a 12 195.67 ha) y un ligero incremento en el índice de forma promedio (Tabla 3).

La parte sudeste del Municipio es la que presenta una mayor fragmentación y pérdida de bosque presenta, lo que se constituye en un problema importante para la conservación para del bosque seco, tanto desde una perspectiva biológica por ser un área de elevada riqueza de especies y endemismos, situación que se observa a escala del Municipio, pero que pasaría desapercibida a escala del PNNT. Esta zona comprenderá al futuro Parque Departamental Jucumarini (Miranda, 2005; Richard *et al.*, 2006), el que sería incorporado a la administración municipal, bajo el concepto de Municipio Área Protegida que definieron García-Crispieri *et al.* (2006a).

La fragmentación y pérdida del hábitat de bosque seco chaqueño en el PNNT, y en mayor escala, en el Municipio de Torotoro no son sólo problemas de conservación a nivel de la comunidad vegetal, sino también a nivel de la fauna que habita en estos bosques y que depende de los recursos que genera para sobrevivir. Para el PNNT se han registrado preliminarmente 369 especies de plantas vasculares (SERNAP 2000), 105 especies de aves (4 de ellas endémicas), 12 especies de mamíferos, 3 especies de anfibios, 2 especies de reptiles y una especie de pez, endémico del Parque (Torrico & Lara, 2000; García-Crispieri *et al.*, 2006b). Para el Municipio de Torotoro no existen inventarios oficiales de biodiversidad publicados a la fecha.

Conclusiones

El bosque seco chaqueño presenta un proceso gradual de fragmentación y pérdida tanto en el PNNT como en el Municipio de Torotoro, siendo más conspicuo en éste último. En ambos casos, en un lapso de 11 años ha habido cambios a nivel de paisaje, evidenciados por el incremento del número de

parches, la reducción del área de parche promedio y, en el caso del Municipio de Torotoro, la pérdida de 6 448.95 ha de extensión de área boscosa.

A pesar que las tasas de deforestación calculadas no son elevadas, el proceso continuo de pérdida de este hábitat se constituye en un importante problema de conservación, tanto para el bosque seco chaqueño como para la fauna asociada a éste. La evaluación realizada mediante la aplicación de teledetección y SIG, permitió obtener información cuantitativa acerca de la pérdida de bosque seco en un lapso de 11 años, y permitió calcular tasas anuales de deforestación y diferentes métricas de paisaje en base a los análisis de fragmentos realizados.

La menor pérdida y fragmentación de bosque en el PNNT respecto al resto del Municipio, sugieren que el régimen de protección disminuiría el impacto negativo de las actividades antrópicas sobre el bosque y la fauna asociada. Estudios futuros más detallados, a nivel de parche, serían recomendables para tener un mayor entendimiento de la dinámica de los procesos que se dan en este ambiente fragmentado, lo que permitiría un mejor entendimiento de los patrones observados en este estudio.

Tanto los métodos aplicados como los resultados obtenidos en este estudio, podrían ser aplicados por el SERNAP para mejorar la gestión territorial que se realiza en el PNNT, considerando la variación espacial y temporal del bosque seco debida tanto a las acciones de conservación llevadas a cabo, como por las actividades antrópicas que se desarrollan al interior del PNNT. El reconocimiento y seguimiento periódico de los patrones presentados en este estudio ayudaría al SERNAP a llevar a cabo acciones concretas de protección en las zonas más impactadas y de mayor valor natural, a fin de maximizar la función de conservación de esta ANP.

Agradecimientos

El presente trabajo fue elaborado como parte del curso de SIG, sensores remotos y análisis espacial de la biodiversidad, impartido en la Universidad de Los Lagos por P. Rutherford, a quien agradezco por enseñarme las herramientas fundamentales de teledetección y por los comentarios a la idea inicial de este trabajo. C.A. Pizarro colaboró con el procesamiento de grandes volúmenes de datos. El Dr. J.R. Rau prestó valiosa ayuda con los análisis estadísticos y comentarios a la primera versión de este trabajo. Una versión previa de este manuscrito fue mejorada sustancialmente gracias a los comentarios, críticas y sugerencias del Dr. J.E. Jiménez. Este manuscrito se benefició de los comentarios de dos revisores anónimos. También agradezco a CONICYT por la beca de Magíster.

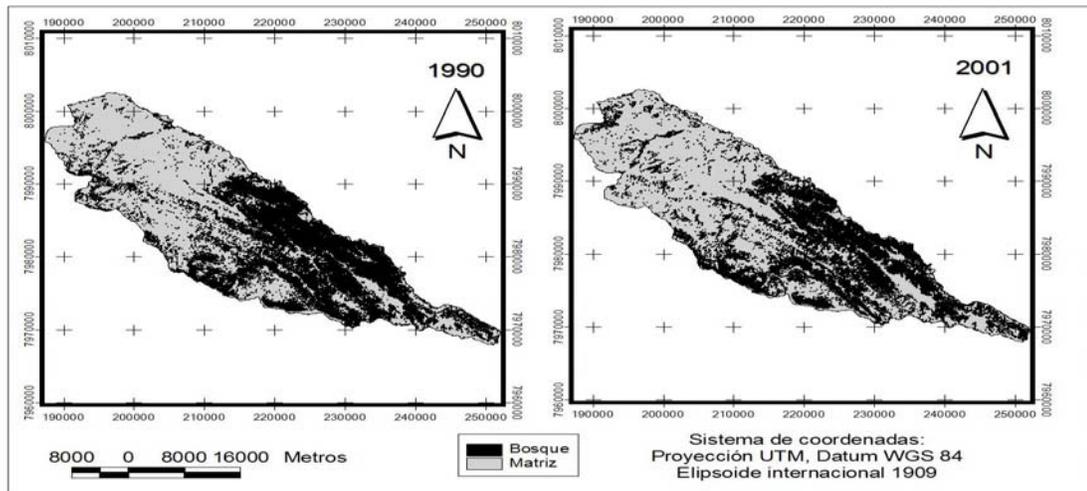


Figura 3: Coberturas de bosque y matriz del Municipio de Torotoro para 1990 y 2001, elaboradas a partir de una clasificación supervisada de imágenes Landsat.

Literatura citada

- Caughley G. 1994. Directions in conservation biology. *Journal of Animal Ecology*. 63: 215–244.
- Chapin III F.S., Zavaleta E.S., Eviner V.T., Naylor R.L., Vitousek P.M., Reynolds H.L., Hooper D.U., Lavorel S., Sala O.E., Hobbie S.E., Mack M.C. & Díaz S. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature*. 405: 234–242.
- Chuvieco E. 1996. *Fundamentos de Teledetección*. 3ª edición, Editorial Rialp, Madrid, España.
- Dias P.C. 1996. Sources and sinks in population biology. *TREE* 11: 326–330.
- Echeverría C., Coomes D., Salas J., Rey-Benayas J.M., Lara A. & Newton A. 2006. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forest. *Biological Conservation* 130: 481–494.
- García-Crispieri G.A., Fontúrbel F.E. & Richard E. 2006a. Propuesta para un desarrollo económico local auténtico para Bolivia: la creación de un municipio área natural protegida y ecomuseo, el Parque Nacional Torotoro (Potosí, Bolivia) como ejemplo. *Rev. In Vestigium (Bolivia)*. 1(3): 7–19.
- García-Crispieri G.A., Fontúrbel F.E., Richard E., Brun N., Burgoa N., García M. & Fernández S. 2006b. Actualización del Plan de Manejo del Parque Nacional Torotoro. Gregory L. Morris Engineering – GEF II/SERNAP – EcoDreams, documento de trabajo, La Paz, Bolivia.
- Groom M., Meffe G.K. & Carroll C. 2005. *Principles of conservation biology*. 3ª ed. Sinauer Associates, EEUU.
- Hargis C.D., Bissonette J.A. & David J.L. 1998. The behavior of landscape metric commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape Ecology*. 13: 167–186.
- _____, Bissonette, J.A. & Turner D.L. 1999. The influence of forest fragmentation and landscape pattern on American martens. *Journal of Applied Ecology*. 36: 157–172.
- Heino M. & Hanski I. 2001. Evolution of migration rate in a spatially realistic metapopulation model. *The American Naturalist*. 157: 495–511.
- Herzog S.K. & Kessler M. 2002. Biogeography and composition of dry forest bird communities in Bolivia. *Journal of Ornithology*. 143: 171–204.
- Lindenmayer D.B. 1999. Future directions for biodiversity conservation in managed forests: indicator species, impact studies and monitoring programs. *Forest Ecology and Management*. 115: 277–287.
- _____. 2000. Island of bush in a sea of pines: a summary of studies from the Tumut fragmentation experiment. Land and Water Resources Research and Development Corporation, Canberra, Australia.
- _____, Cunningham R.B., Pope M.L. & Donnelly C.F. 1999. The response of arboreal marsupials to landscape context: a large-scale fragmentation study. *Ecological Applications*. 9: 594–611.
- _____, & Fischer, J. 2006. *Habitat fragmentation and landscape change*. Island Press, Washington, EEUU.
- Miranda C. 2005. Identificación de potenciales áreas protegidas en el Departamento de Potosí. PCDSMA – Savia, La Paz, Bolivia.
- Murcia C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *TREE* 10: 58–62.
- Navarro G. & Maldonado M. 2002. Geografía ecológica de Bolivia: Vegetación y ambientes acuáticos. Fundación Simón I. Patiño, Cochabamba, Bolivia.
- Pauchard A., Aguayo M. & Alaback P. 2006. Cuantificando la fragmentación del paisaje: las métricas y sus significados ecológicos. Páginas 41–68 en: A.A. Grez, Simonetti J.A. & Bustamante R.O. (Editores) *Biodiversidad en Ambientes Fragmentados de Chile: Patrones y Procesos a Diferentes Escalas*, Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- Pitter E. & Christiansen M.B. 1997. Behavior of individuals and social interactions of the red-fronted macaw *Ara rubrogenys* in the wild during the midday rest. *Ornitología Neotropical*. 8: 133–143.

- Pouilly M. & Miranda G. 2003. Morphology and reproduction of the cavefish *Trichomycterus chaberti* and the related epigeal *Trichomycterus cf. barbouri*. *Journal of Fish Biology*. 63: 490–505.
- Rempel R. 2006. Patch Analyst version 3.0. Extensión para ArcView disponible en <http://flash.lakeheadu.ca/~rrempe/patch/>.
- Richard E., Fontúrbel F.E. & García-Crispieri G.A. 2006. Evaluación de objetivos de conservación de áreas protegidas a partir del análisis del área de campeo y población mínima viable de especies de felinos y cánidos. El Parque Nacional Torotoro (Potosí, Bolivia) como ejemplo. *Ecología Aplicada*. 5: 101–110.
- Sala O.E., Chapin III F.S., Armesto J.J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L.F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D.M., Mooney H.A., Oesterheld M.O., Poff N.L., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M. & Wall D.H. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*. 287: 1770–1774.
- Saunders D., Hobbs R. & Margules C. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*. 5: 18–32.
- SERNAP. 2000. Información técnica del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Bolivia. Ed. Plural, La Paz, Bolivia.
- SPSS. 2002. SPSS para Windows versión 11.5. Chicago: SPSS Inc.
- Torrice M.E. & Lara R. 2000. Parque Nacional Torotoro: Una guía para su interpretación. ACT, Konrad Adenauer, LIDEMA, La Paz, Bolivia.
- Wilson K., Newton A., Echeverría C., Weston C. & Burgman M.A. 2005. A vulnerability analysis of the temperate forest of south central Chile. *Biological Conservation*. 122: 9–21.

Tablas citadas en el texto.

Tabla 1. Análisis de fragmentos elaborado mediante el componente Fragstats de Patch Analyst 3.0 para ArcView, para el área del Parque Nacional Torotoro, en base a las clasificaciones digitales de 1990 y 2001. Se detallan las métricas de paisaje, de borde, forma, distancia y área núcleo. Las unidades se muestran entre paréntesis. Abreviaturas CV: coeficiente de variación, DS: desviación estándar.

Métrica	Parámetro	1990		2001	
		Bosque	Matriz	Bosque	Matriz
Paisaje	Área total (ha)	969.81	15865.18	975.92	15859.07
	Área del paisaje (ha)	16834.99		16834.99	
	Porcentaje del paisaje (%)	5.76%	94.24%	5.80%	94.20%
	Número de parches	757	98	820	73
	Tamaño parche promedio (ha)	1.28	161.89	1.19	217.25
	CV del tamaño de parche	1261.63	981.20	607.55	847.09
	DS del tamaño de parche	16.16	1588.47	7.23	1840.29
Borde	Borde total (m)	442288	500080	441504	503776
	Densidad de borde	26.27	29.70	26.23	29.92
Forma	Índice de forma promedio	1.33	1.35	1.30	1.31
	Índice de forma ponderado por área	8.09	9.18	4.23	9.59
	Dimensión fractal promedio del parche	1.05	1.04	1.05	1.04
	Dimensión fractal promedio ponderada por área	1.23	1.23	1.19	1.24
Distancia	Distancia promedio al vecino más cercano (m)	89.53	34.75	87.93	33.20
	Índice de proximidad promedio	262.62	117968.61	102.23	137840.59
Área núcleo	Total área núcleo (ha)	318.46	14892.08	327.87	14855.00
	Densidad del área núcleo	1.67	0.78	1.68	0.55
	Área núcleo promedio (ha)	1.13	113.68	1.16	161.47
	DS del área núcleo	13.05	1295.29	6.09	1540.07
	CV del área núcleo	1151.82	1139.42	524.05	953.80
	Total índice de área núcleo	32.84	93.87	33.60	93.67

Tabla 2: Análisis de fragmentos elaborado mediante el componente Fragstats de Patch Analyst 3.0 para ArcView, para el área del Municipio de Torotoro, en base a las clasificaciones digitales de 1990 y 2001. Se detallan las métricas de paisaje, de borde, forma, distancia y área núcleo. Las unidades se muestran entre paréntesis. Abreviaturas CV: coeficiente de variación, DS: desviación estándar.

Métrica	Parámetro	1990		2001	
		Bosque	Matriz	Bosque	Matriz
Paisaje	Área total (ha)	30821.16	86467.51	24372.21	92916.47
	Área del paisaje (ha)	117288.67		117288.67	
	Porcentaje del paisaje (%)	0.26	0.74	0.21	0.79
	Número de parches	9322	3895	9600.00	3189.00
	Tamaño parche promedio (ha)	3.31	22.20	2.54	29.14
	CV del tamaño de parche	5411.17	5965.55	2655.54	5512.38
	DS del tamaño de parche	178.91	1324.30	67.42	1606.12
Borde	Borde total (m)	7734608	7898408	7687288	7868112
	Densidad de borde	65.95	67.34	65.54	67.08
Forma	Índice de forma promedio	1.32	1.28	1.33	1.28
	Índice de forma ponderado por área	28.10	51.39	15.89	53.73
	Dimensión fractal promedio del parche	1.05	1.04	1.05	1.04
	Dimensión fractal promedio ponderada por área	1.33	1.38	1.29	1.38
Distancia	Distancia promedio al vecino más cercano (m)	433.89	309.36	407.18	306.80
	Índice de proximidad promedio	391.91	5029.68	88.76	10007.11
Área núcleo	Total área núcleo (ha)	18328.51	71853.21	12195.67	78280.68
	Densidad del área núcleo	3.58	2.42	3.76	2.29
	Área núcleo promedio (ha)	4.37	25.26	2.76	29.09
	DS del área núcleo	197.57	1321.59	64.32	1498.02
	CV del área núcleo	4522.95	5230.96	2327.89	5149.64
	Total índice de área núcleo	59.47	83.10	50.04	84.25

Tabla 3. Matriz de cambios de las métricas de las Tablas 1 y 2, aplicadas a la clase de bosque, tanto para el PNTT como para el Municipio de Torotoro. Los valores expresan la resta del valor obtenido para 2001 menos el valor obtenido para 1990.

Métrica	Cambio entre 1990 y 2001	
	PNTT	Municipio
Área de bosque(ha)	6.11	-6448.95
Número de parches	63	278
Tamaño promedio del parche (ha)	-0.09	-0.77
Borde (m)	-784	-47320
Densidad de borde	-0.04	-0.41
Índice de forma	-0.03	0.01
Índice de forma ponderado	-3.86	-12.21
Dimensión fractal	0	0
Dimensión fractal ponderada	-0.04	-0.04
Distancia al vecino más cercano (m)	-1.6	-26.71
Índice de proximidad promedio	-160.39	-303.15
Total área núcleo (ha)	9.41	-6132.84
Área núcleo promedio (ha)	0.03	-1.61
Índice de área núcleo	0.76	-9.43

¹Afiliación institucional actual y donde se realizó el trabajo:

Magíster en Ciencias y Laboratorio de Vida Silvestre, Universidad de Los Lagos, Casilla 933, Osorno, CHILE.

E-mail: fonturbel@gmail.com, Fax: +56-64-333106.

Dirección para correspondencia:

Francisco E. Fontúrbel

Av. Fuchslocher # 1305, Escuela de Postgrado, Universidad de Los Lagos. Osorno, CHILE.