

Fragmentación de la cobertura forestal

en Costa Rica durante los períodos 1997 – 2000 y 2000-2005

Ana Calvo-Obando¹
Edgar Ortiz-Malavassi²

Resumen

Se estudió el grado de fragmentación de la cobertura forestal de Costa Rica en las Unidades Fitogeográficas (UF) durante tres años: 1997, 2000 y 2005. Se calculó la tasa porcentual anual de cambio utilizando la fórmula propuesta por Puyravaud (2003). Se utilizó software que permitió trabajar tanto en formato vectorial como raster, tal como ArcView 3.3, ArcGis 9.3 y FRAGSTATS 3.3. Las métricas de fragmentación calculadas por el software FRAGSTATS 3.3 fueron área remanente, número de parches (NP), distancia media al vecino más cercano (MNN) y densidad de parches (PD). Durante el período 1997-2000 se deforestaron 9139 hectáreas, de las cuales el 54,8% se concentró en la UF 3a (llanuras de Tortuguero, tierras bajas), mientras que durante el período 2000-2005 se deforestaron 23699 hectáreas, de las cuales el 18,6% se concentró en la UF 3a (llanuras de Tortuguero, tierras bajas). Sin embargo se presentó recuperación de la cobertura forestal. Solamente durante el período 2000 - 2005 fueron detectados procesos de pérdida y recuperación de la cobertura forestal en forma simultánea.

Palabras clave: unidad fitogeográfica, fragmentación, sistemas de información geográfica, cobertura forestal, fragstats, Costa Rica.

Abstract

The fragmentation degree of forest cover in the Fitogeographic Units (FU) of Costa Rica was studied during three years: 1997, 2000 and 2005. This permitted to calculate the annual percentage change rate using the formula proposed by Puyravaud (2003). Software that allows both vectorial and raster formats was used, such as: ArcView 3.3, ArcGis 9.3 and FRAGSTATS 3.3. The measurements of fragmentation calculated by software FRAGSTATS 3.3 were: remnant area, number of patches (NP), mean nearest neighbor distance (MNN) and patch density (PD). During the period 1997-2000 9 139 hectares were deforested, 54,8% was concentrated in the UF 3a (Tortuguero plains, lowlands), while in the period 2000-2005, 23 699 hectares were cut, of which 18,6% was concentrated in the UF 3a (Tortuguero plains, lowlands), nevertheless it appeared recovery of forest cover. Only during the period 2000-2005 were identified processes of loss and recovery of forest cover simultaneously.

Key words: fitogeographic unit, fragmentation, geographical information systems, forest cover, fragstats, Costa Rica.

1. Investigadora - Escuela de Ing. Forestal Instituto Tecnológico de Costa Rica. ajcalvo@itcr.ac.cr

2. Profesor e investigador - Instituto Tecnológico de Costa Rica. eortiz@itcr.ac.cr

Introducción

En el año 1992 se celebró la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, Brasil. Allí fue creado el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), tratado mundial jurídicamente vinculante que Costa Rica firmó y ratificó en 1994 (MINAET 2007).

El plan estratégico del CDB establece como misión lograr para el año 2010 una reducción significativa del ritmo actual de pérdida de la diversidad biológica, a nivel mundial, regional y nacional, como contribución a la mitigación de la pobreza y en beneficio de todas las formas de vida en la Tierra (PNUMA 2006).

A efecto de evaluar los progresos en el logro de la Meta sobre la Diversidad Biológica del 2010, fueron creados objetivos e indicadores para evaluar la situación y las tendencias en la misma, y por medio de estos dar a conocer a la sociedad esos progresos (PNUMA 2006).

Dentro de este enfoque es que nace la propuesta e implementación del Programa de Monitoreo Ecológico Terrestre de las Áreas Protegidas y Corredores Biológicos de Costa Rica (PROMEC-CR), como uno de los esfuerzos necesarios para que Costa Rica avance hacia el cumplimiento de la meta (SINAC 2007a).

Los productos de la presente investigación serán parte del primer Informe del Estado de Conservación de la Biodiversidad de Costa Rica, dentro del marco del PROMEC-CR (en preparación), los cuales están ligados al objetivo general de conocer el estado de conservación de la biodiversidad del país y sus tendencias iniciales (SINAC 2007a), dando respuesta al indicador de área y grado de fragmentación actuales del hábitat natural en Costa Rica.

Este indicador contempla verificadores de área de hábitat y su dinámica, así como de grado de fragmentación del hábitat y su dinámica, que se calcularon por medio de mapas de cobertura de la tierra generados a partir de imágenes de sensores remotos, los cuales se encuentran disponibles para Costa Rica para los años 1997, 2000 y 2005.

El presente estudio nace como una necesidad de apoyar el cumplimiento de la meta a largo plazo del PROMEC-CR, la cual consiste en contribuir de manera decisiva con la conservación de la biodiversidad del país, por medio de la generación y aplicación a la toma de decisiones sobre el manejo del territorio nacional, de información científica confiable sobre el estado de conservación de esa biodiversidad y sus tendencias (SINAC 2007a).

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue calcular el indicador 1.1 del PROMEC-CR, que consiste en la estimación del área y grado de fragmentación actuales de la cobertura forestal en Costa Rica correspondiente a cada unidad fitogeográfica (UF). Para lograrlo, se calculó el área remanente de la cobertura forestal en cada una de las UF, así como la tasa porcentual anual de cambio del área total remanente determinada

para cada una de las UF con base en tres períodos: 1997, 2000 y 2005. Finalmente, se estimaron diferentes métricas de fragmentación para cada una de las UF del país.

Materiales y métodos

Área de estudio: Como se muestra en la Figura 1, el área de estudio abarcó 31 UF para Costa Rica, es decir, la totalidad del territorio costarricense continental, insular y marino, excluyendo dos unidades que pertenecen a la Isla del Coco.

Se utilizó el mapa de UF de Costa Rica del 2006, elaborado por el Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) mediante la sobreposición de los mapas de macrotipos de vegetación y regiones florísticas (SINAC 2007b).

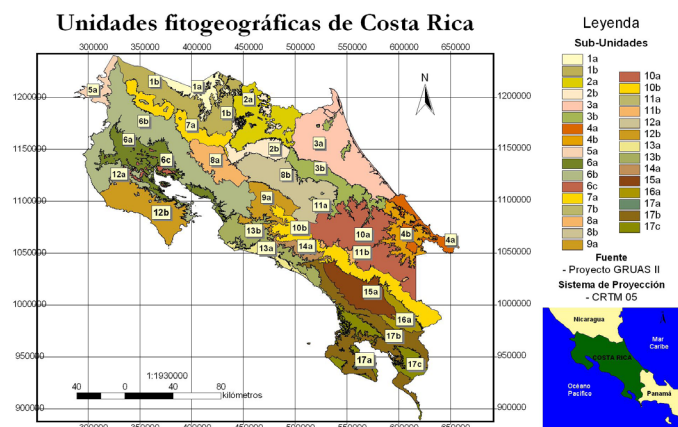


Figura 1. Mapa de unidades fitogeográficas de Costa Rica.

Donde: (1a) Llanuras de Guatuso tierras bajas, (1b) Llanuras de Guatuso tierras elevadas, (2a) Llanuras de San Carlos, tierras bajas, (2b) Llanuras de San Carlos tierras elevadas, (3a) Llanuras de Tortuguero, tierras bajas, (3b) Llanuras de Tortuguero, tierras elevadas, (4a) Tierras bajas del Caribe Sur, (4b) Estribaciones del Caribe de la cordillera de Talamanca, (5a) Península de Santa Elena, (6a) Tierras bajas del Tempisque, (6b) Pie de monte de la cuenca del Tempisque, (6c) Cerros cársticos de la cuenca del Tempisque, (7a) Laderas de los edificios volcánicos de Guanacaste, (7b) Cimas de los edificios volcánicos de Guanacaste, (8a) Cordillera de Tilarán, (8b) Cordillera Volcánica Central, (9a) Valle Central Occidental y Cerros de Turruabares, (10a) Laderas del litoral Caribe de Talamanca, (10b) Laderas del litoral Pacífico de Talamanca, (11a) Páramos de la cordillera Volcánica Central, (11b) Páramos de Talamanca, (12a) Laderas y zonas bajas de la península de Nicoya, (12b) Cimas de la península de Nicoya, (13a) Llanuras de Parrita, (13b) Estribaciones occidentales de la cordillera de Talamanca, (14a) Fila Chonta, (15a) Valle del General, (16a) Valle del Coto Brus, (17a) Cimas de la península de Osa, (17b) Laderas de Osa y filas Costeña, Cruces y Cal y (17c) Llanuras de la península de Osa.

Información base: Mediante la intersección de los mapas de cobertura de tres años: 1997, 2000 y 2005, con el mapa de unidades fitogeográficas (UF), se obtuvo la cobertura de la tierra para cada una de las unidades. El sistema de proyección utilizado fue Costa Rica Lambert Norte. Las capas fueron proyectadas utilizando la extensión Cr_proy_datum_2008 (Fallas 2008) y posteriormente georeferenciadas utilizando la extensión ShapeWarp 2.1 para ArcView 3.3 (ESRI).

Se tomó como base la siguiente información:

a. Mapa de cobertura del año 1997 para Costa Rica (línea base) el cual se preparó a partir del mapa de cambio de cobertura 1997-2000 (EOSL 2002), reclasificando las áreas deforestadas como bosque. Este mapa fue elaborado por el Laboratorio de Sistemas de Observación Terrestre del Departamento de Ciencias de la Tierra y la Atmósfera de la Universidad de Alberta; con base en la interpretación y clasificación de imágenes Landsat 7 y creado en marzo del 2002.

b. Mapa de cobertura del año 2000 para Costa Rica (EOSL 2002), elaborado por el Laboratorio de Sistemas de Observación Terrestre del Departamento de Ciencias de la Tierra y la Atmósfera de la Universidad de Alberta; con base en la interpretación y clasificación de imágenes Landsat 7, creado en marzo del 2002.

c. Mapa de cobertura del año 2005 para Costa Rica (EOSL 2006), elaborado por el Laboratorio de Sistemas de Observación Terrestre del Departamento de Ciencias de la Tierra y la Atmósfera de la Universidad de Alberta; con base en la interpretación y clasificación de imágenes Landsat 2005, exceptuando la región de Limón en la que se empleó una imagen Landsat 2004.

d. Mapa de UF de Costa Rica (INBio 2006). Dicho mapa fue proyectado a Costa Rica Lambert Norte utilizando la extensión Cr_proy_datum_2008 (Fallas 2008) y posteriormente fue georeferenciado utilizando la extensión ShapeWarp 2.1 para ArcView 3.3 (ESRI).

e. Mapa de las Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica (ASP) (SINAC 2006). Dicho mapa fue proyectado a Costa Rica Lambert Norte utilizando la extensión Cr_proy_datum_2008 (Fallas 2008) y posteriormente fue georeferenciado utilizando la extensión ShapeWarp 2.1 para ArcView 3.3 (ESRI).

De acuerdo con el SINAC (2007b), las ASP se encuentran agrupadas con base en el nivel de restricción de las actividades humanas y la temporalidad de dichas restricciones, de la siguiente manera: estricta y/o permanentemente protegidas (tierras con mayores niveles de restricción para la extracción de recursos naturales), tierras parcialmente protegidas (tierras con algunas limitaciones pero que permiten la extracción de recursos) y tierras temporalmente protegidas (tierras cuyas restricciones se establecen por contrato, por períodos de tiempo cortos o relativamente cortos, sea por diez años o menos).

f. Mapa de corredores biológicos de Costa Rica (PNCB, MINAET y SINAC 2008). Dicho mapa fue proyectado a Costa Rica Lambert Norte utilizando la extensión Cr_proy_datum_2008 (Fallas 2008), no fue necesario georeferenciarlo.

Utilizando la extensión Xtools (versión 9/15/2003) para ArcView 3.3 (ESRI), se ejecutó el comando Intersect Themes entre los mapas de cobertura y el mapa de

UF, el resultado de dichas intersecciones se transformó utilizando el programa ArcView 3.3 (ESRI), a formato raster (grid) siguiendo los siguientes parámetros: output grid cell size: 100 m (1 ha) y conversion field: cobertura. Para el análisis, las categorías clasificadas como forestal, bosque secundario y bosque de palmas fueron reclasificadas únicamente como forestal utilizando el comando Reclassify de la extensión Spatial Analyst (ESRI).

Parámetros para evaluar el Indicador

Verificadores: De acuerdo con el Cuadro 1 fueron determinados los siguientes verificadores, los cuales consisten en índices de paisaje o fragmentación.

Cuadro 1. Verificadores calculados para el Indicador 1.1 del PROMEC-CR.

Verificadores de área de habitat y su dinámica				
Verificador	Acrónimo	Unidades	Formato de trabajo	Rango
Área total remanente ⁽¹⁾ y su tasa de cambio	CA	Hectáreas (ha)	Vector	CA>0 sin limite
Verificadores del grado de fragmentación del habitat y su dinámica				
Verificador	Acrónimo	Unidades	Formato de trabajo	Rango
Número de parches hábitat ⁽¹⁾	NP	-	Raster	NP≥1 sin limite
Distribucion de frecuencias de áreas de parches ⁽¹⁾		Hectáreas (ha)	Raster	CA>0 sin limite
Ubicación geográfica de procesos de deforestación y fragmentación ⁽²⁾	-	-	Vector	-
Densidad de fragmentos ⁽¹⁾	PD	Nfragmentos por cada 100 ha	Raster	PD≥0 sin limite
Distancia media al vecino más cercano ⁽¹⁾	MNN	Metros (m)	Raster	MNN>0 sin limite

Fuente: McGarigal *et al.* 2002.

Notas

(1) Fue utilizado el software FRAGSTATS 3.3 (McGarigal *et al.* 2002) de acuerdo con los siguientes parámetros: Input data type: Arc Grid, Input file type: landscape, Grid attributes: background Value = 100, Analysis type: standard, Patch neighbors: 8 cell rule y Output statistics: class metrics.

(2) Se definió con la categoría denominada “deforestación” presente en los mapas de cobertura del 2000 y del 2005.

Los índices de paisaje son expresiones cuantitativas utilizadas para describir la estructura o patrón de un espacio y se calculan a partir de los datos de un mapa. Sintetizan la configuración del mosaico en cuanto a tipos de cobertura, formas de fragmentos, bordes de fragmentos y disposición de los mismos en el espacio (Silva 2003).

Definición de los índices de fragmentación

a. Área total remanente (CA): la extensión total de cada clase en estudio (m²) dividido por 10 000, para expresarlo en hectáreas.

b. Número de parches (NP) de hábitat de cada clase (nj): da una indicación del grado de fragmentación, especialmente si en su estado inicial la región era relativamente homogénea en cuanto al tipo de hábitat o uso de la tierra. Cuanto mayor es la cantidad de fragmentos, más fino es el grano del mosaico y la heterogeneidad se percibe a escala espacial inferior (mayor detalle) (McGarigal *et al.* 2002; Matteucci *et al.* 2004).

c. Densidad de los fragmentos (PD): tiene la misma utilidad indicadora que la cantidad de fragmentos, pero es un valor relativo que permite comparar territorios de tamaños diferentes. Expresa el número de fragmentos por unidad de superficie y puede referirse al mosaico o a la categoría. Un mosaico con mayor densidad de fragmentos es más heterogéneo; una clase con mayor densidad de fragmentos está más fragmentada (McGarigal *et al.* 2002; Matteucci *et al.* 2004).

d. Distancia media al vecino más cercano (MNN): es igual a la suma de la distancia (m) de un fragmento al fragmento vecino más cercano del mismo tipo, basado en la distancia de borde a borde, dividido por el número de parches del mismo tipo (nj) (McGarigal *et al.* 2002). Cuando el área de análisis presenta solamente un parche de la clase que se está evaluando, no es posible calcular el valor de este índice. Este índice puede indicar el nivel de aislamiento que se puede presentar entre fragmentos de la misma clase. Sin embargo, Sánchez Pardo (2008) menciona que hay que tener en cuenta que el valor obtenido de la MNN puede ser engañoso si no se posee una cierta exhaustividad de datos, y que la media no siempre refleja la situación general de la mayoría de los datos.

Análisis de datos

Tasa porcentual anual de cambio: Una vez procesada la información sobre los verificadores para los tres años en estudio, se procedió a determinar la tasa porcentual de cambio usando la fórmula de tasa estandarizada de Puyravaud (2003):

$$r = \frac{1}{(t_2 - t_1)} * \ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$$

Donde: A₁ es el área o variable en estudio encontrada en la primera fecha de evaluación o t₁, A₂ es el área o variable en estudio encontrada en la segunda fecha de evaluación o t₂.

Resultados

Verificadores de área de hábitat y su dinámica:

El territorio costarricense está conformado por un total de 5 100 000 ha. De estas, el 13,0% corresponde a ASP (Áreas Silvestres Protegidas) estrictamente protegidas

(663 000 ha), el 33,0% a CB (Corredores Biológicos) (1 683 000 ha) y el 54,0% a áreas fuera del AFC (Área Funcional de Conservación) (2 754 000 ha). Para el caso de las ASP, si se toman en cuenta todas las categorías de conservación (permanentes, parciales y temporales) la proporción aumenta a un 25,0% (1 275 000 ha) y el porcentaje de áreas fuera del AFC disminuye a 42,0% (2 142 000 ha).

Para el año 1997, el área de cobertura forestal representada en todas las UF fue de 2 321 951 ha (el 45,5% del territorio nacional), de este total, el 11,39% se encontraban en ASP estrictamente protegidas, el 15,0% en CB y el 19,1% en áreas fuera del AFC. Para el 2000 el área remanente fue de 2 312 812 ha (el 45,4% del territorio nacional), correspondiendo un 11,4% en ASP estrictamente protegidas, el 14,9% a CB y el 18,9% en áreas fuera del AFC.

Durante el período 1997-2000 se deforestaron 9 139 ha de cobertura forestal, proceso que se extendió por el 77,4% de las UF (2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b, 5a, 6a, 6b, 6c, 7a, 8a, 8b, 9a, 10a, 10b, 12b, 13a, 13b, 14a, 15a, 16a, 17b y 17c). El 54,8% del área deforestada se concentró en la UF 3a (llanuras de Tortuguero, tierras bajas), tal y como se muestra en la Figura 3.

Para el año 2005, el área remanente de cobertura forestal representada en todas las UF fue de 2 446 364 ha (el 48,0% del territorio nacional), correspondiendo el 11,6% a ASP estrictamente protegidas, el 15,9% a CB y el 20,4% en áreas fuera del AFC.

Durante el período 2000-2005 se deforestaron 23 699 ha, proceso que se extendió por el 74,2% de las UF (1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b, 4b, 6a, 6b, 7a, 8a, 8b, 9a, 10a, 10b, 11b, 13a, 13b, 14a, 15a, 16a, 17b y 17c), el 18,6% del área deforestada se concentró en la UF 3a (llanuras de Tortuguero, tierras bajas) y el 18,5% en la UF 2a (llanuras de San Carlos, tierras bajas), tal y como se muestra en la Figura 2.

Las Figuras 3 y 4 muestran la ubicación geográfica de los procesos de deforestación en el país durante los períodos 1997-2000 y 2000-2005 respectivamente.

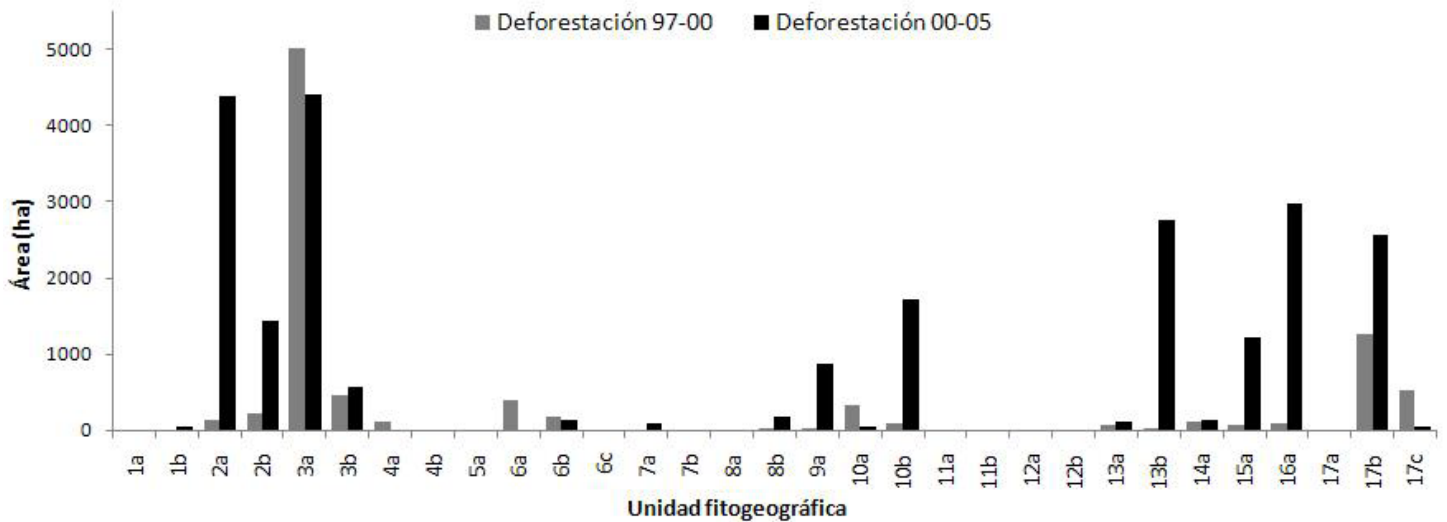


Figura 2. Deforestación por UF durante los períodos 1997-2000 y 2000-2005.

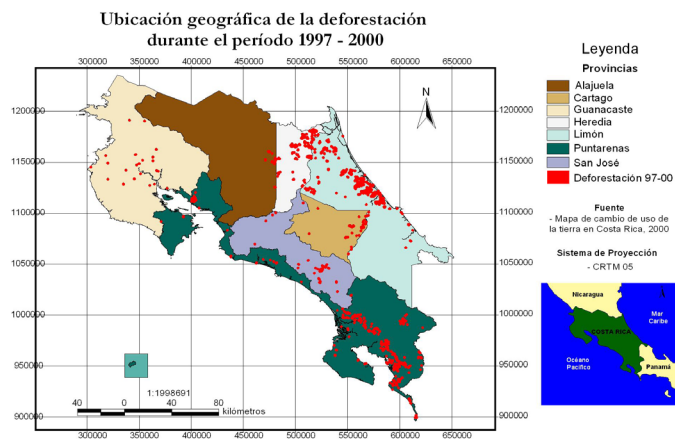


Figura 3. Ubicación geográfica del proceso de deforestación durante el período 1997-2000.

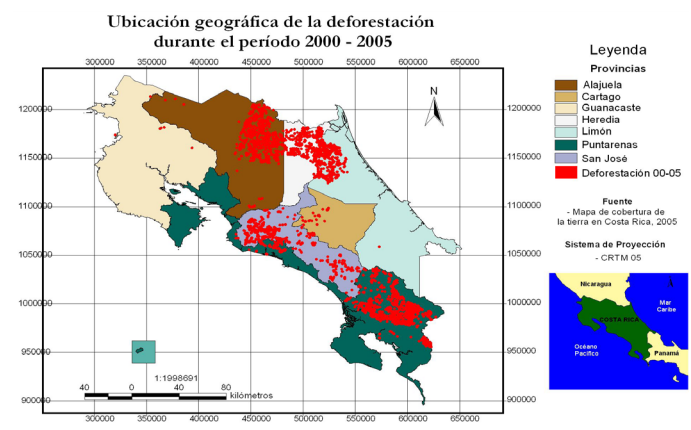


Figura 4. Ubicación geográfica del proceso de deforestación durante el período 2000-2005.

La Figura 5 muestra el área total remanente y la tasa de cambio de la cobertura forestal para cada una de las UF en estudio.

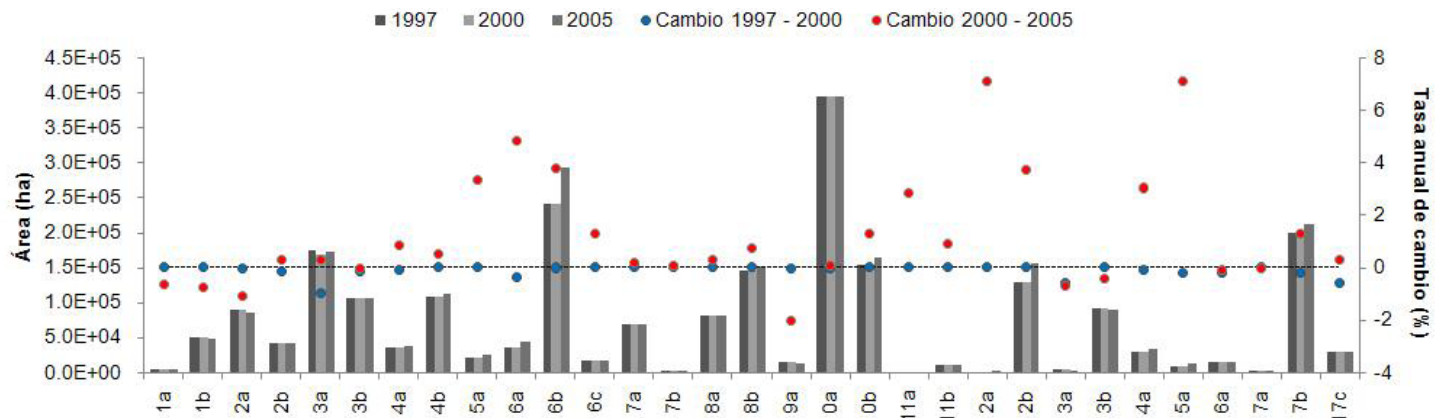


Figura 5. Área total remanente (ha) y tasa anual de cambio (%) del área total remanente de cobertura forestal por UF.

Durante el período 1997-2000, la totalidad de las UF presentó remanencia de cobertura forestal y de estas el 77,4% presentó variación, la cual en todos los casos fue de disminución de área. En términos absolutos, las unidades 3a, 17b y 17c fueron las que presentaron mayores mermas. Mientras que porcentualmente, las UF que presentaron variación lo hicieron de forma negativa, siendo 3a, 17c y 13a las principales, de estas 3a fue la mayor con una tasa de cambio anual de -1,0%.

Durante el período 2000-2005 el 96,8% de las UF presentó variación. El 25,8% de las unidades mostró disminución, siendo 2a, 1b y 13b las que en términos absolutos presentaron las mayores mermas. Mientras que el 71,0% varió en forma de ganancia y las unidades 6b, 12b y 17b fueron las que en términos absolutos presentaron mayor recuperación. Porcentualmente, las UF 15a, 12a y 6a variaron de forma positiva, siendo 15a y 12a las mayores con una tasa de cambio anual de 7,0%. Mientras que de las UF que variaron de forma negativa fueron 9a, 2a y 1b las principales, siendo 9a la mayor con una tasa anual de cambio de -2,0%.

Verificadores del grado de fragmentación del hábitat y su dinámica: La Figura 6 muestra el número de parches de hábitat de cobertura forestal para cada UF.

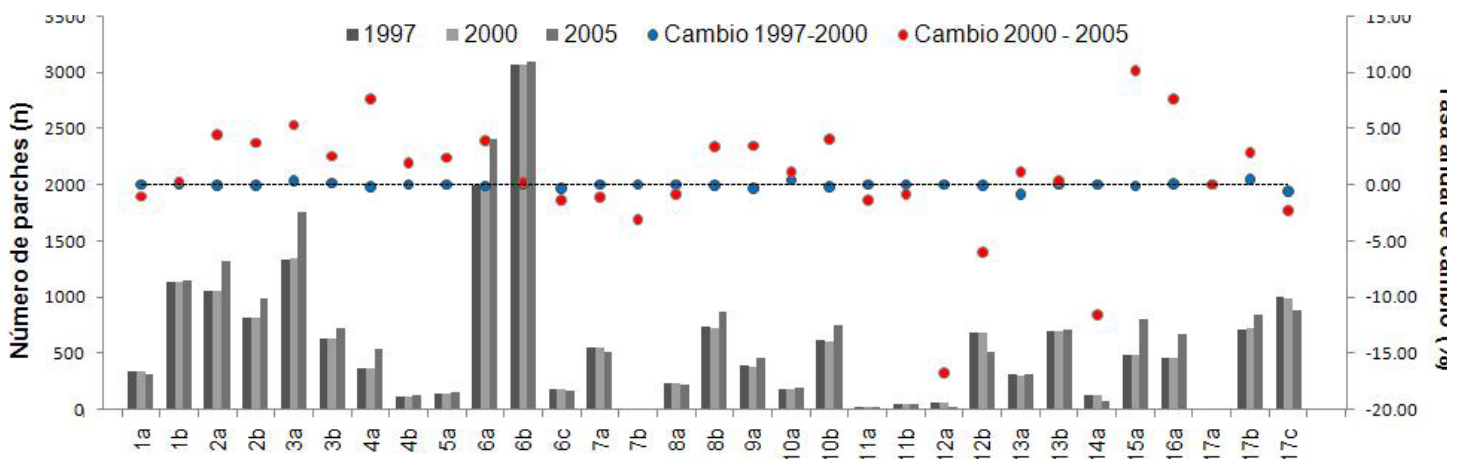


Figura 6. Número de parches de hábitat de cobertura forestal en cada una de las UF.

En el año 1997, se obtuvo un total de 18 402 parches de bosque para Costa Rica. Las UF que presentaron mayor cantidad fueron 6b, 6a y 3a, en donde 6b fue la mayor con 3 064 parches (16,6% del total), mientras que las unidades con menos parches fueron 17a, 7b y 11a, donde 17a fue la menor con cinco parches (0,03% del total). Para el año 2000 se obtuvo un total de 18 372 parches y se mantuvieron las mismas UF con los valores máximos y mínimos con respecto al año 1997.

En términos absolutos, durante el período 1997-2000, las UF en las cuales se disminuyó en mayor cantidad el número de parches fueron 17c, 6a y 13a, de las cuales 17c fue la principal con una pérdida de 17 parches, mientras que las que aumentaron en mayor cantidad el número de

parches fueron 3a y 17b, siendo 3a la principal con 12 parches. Porcentualmente, la UF que más incrementó el número de parches fue 17b con una tasa de cambio anual de 0,5% y la que más disminuyó fue 13a con una tasa de cambio de -0,9%.

En el año 2005 se obtuvo en total 20 546 parches de bosque. Las UF con más cantidad fueron 6b, 6a y 3a, en donde 6b fue la principal con 3 093 parches (15,0% del total), mientras que las unidades con menos parches fueron 17a, 7b y 11a, donde 17a fue la que presentó la menor cantidad con 5 parches (0,02% del total).

Durante el período 2000-2005, las UF en las cuales se disminuyó en mayor cantidad el número de parches fueron 12b, 17c y 14a y de ellas 12b fue la mayor, con una pérdida de 176 parches. Las unidades que aumentaron en mayor cantidad el número de parches fueron 6a, 3a y 15a, siendo 6a la que más aumentó con 423 parches. Porcentualmente la UF que más incremento el número de parches fue 15a, con una tasa de cambio anual de 10,1% y la que más disminuyó el número de parches fue 12a con una tasa de cambio de -16,7%.

De acuerdo con la Figura 7, en el año 1997, el mayor porcentaje de área de cobertura forestal se concentró

en diez parches, que pertenecen a la clase de 50 001 ha o más y representan el 51,0% de la cobertura total. Por otra parte, a pesar de que la clase de 1 - 5 000 ha poseía un total de 18 356 parches, ésta solo logra representar un 24,9% de la cobertura. Para el 2000 se mantuvieron los mismos valores que durante el año 1997. Durante el período 1997-2000 las clases que más reflejaron la disminución del área remanente de cobertura forestal fueron la de 50 001 o más, 1 - 5 000 ha y la de 25 001 - 30 000 ha respectivamente.

Para el año 2005, el mayor porcentaje de área de cobertura forestal se concentró en 11 parches en la clase de 50 001 ha o más, con el 56,3% del total.

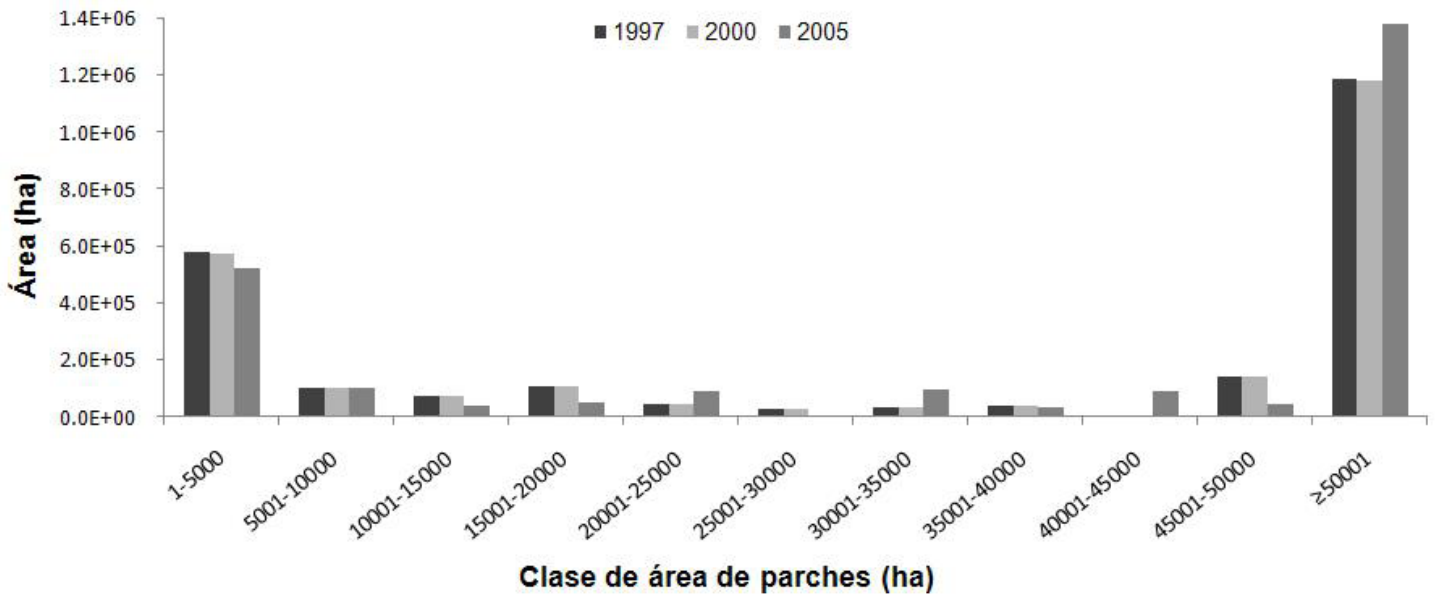


Figura 7. Distribución de frecuencias de áreas de parches (ha).

A pesar de que la clase de 1 – 5 000 ha poseía un total de 20 503 parches, esto solo representó el 21,3% de la cobertura total. Durante el período 2000-2005, las clases que más reflejaron el aumento del área remanente de cobertura forestal fueron la de 50 001 ha o más, 40 001 – 45 000 ha y 30 001 – 35 000 ha respectivamente.

De acuerdo con la Figura 8, en el año 1997, las UF que presentaron mayor densidad de fragmentos fueron 12a, 6a y 11a, siendo 12a la principal con una densidad de 1,49 parches por cada 100 ha. Las unidades con menor densidad de fragmentos fueron 10a, 4b y 17a, de las cuales 10a fue la principal con una densidad de 0,04 parches por cada 100 ha. Para el año 2000 se mantienen las mismas UF representando los valores máximos y mínimos.

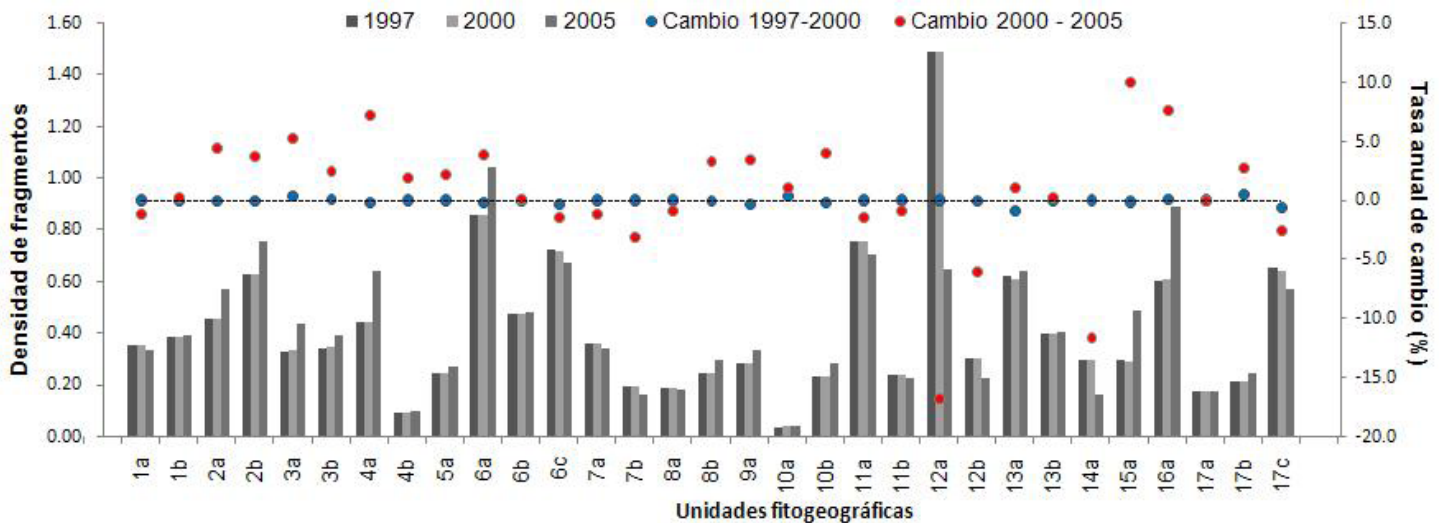


Figura 8. Densidad de fragmentos (número de fragmentos por cada 100 hectáreas) por UF.

Durante el período 1997-2000, el 58,0% de las UF varió su densidad. El 16,1% de las unidades aumentó el valor de densidad, siendo 17b, 3a y 16a las principales. El 35,5% de las unidades disminuyó el valor, siendo las unidades 13a, 17c y 6c las principales. Porcentualmente la UF en la cual se incrementó en mayor cantidad fue 17b con una tasa de cambio anual de 0,5% y en la cual se disminuyó en mayor cantidad fue 13a con una tasa de cambio de -0,9%.

En el año 2005 las UF que presentaron mayor densidad de fragmentos fueron 6a, 16a y 2b, siendo 6a la principal con una densidad de 1,04 parches por cada 100 ha. Las UF con menor densidad de fragmentos fueron 10a, 4b y 7b, de las cuales 10a fue la principal con una densidad de 0,002 parches por cada 100 ha.

Durante el período 2000-2005 el 96,8% de las UF varió en densidad. El 61,3% de las unidades aumentó el valor de densidad, siendo 16a, 4a y 15a las principales. El 35,5% de las unidades cambió de forma descendente, siendo las unidades 12a, 14a y 12b las que más disminuyeron en densidad. Porcentualmente la UF donde incrementó más la densidad fue la 15a, con una tasa de cambio anual de 10,0% y la UF en la cual disminuyó en mayor cantidad fue la 12a con una tasa de cambio de -16,7%.

De acuerdo con la Figura 9, en el año 1997, las UF con la mayor distancia media al vecino más cercano fueron 7b, 11b y 15a, siendo 7b la mayor, con una distancia de 4 202 metros. Las UF con la menor distancia media al vecino más cercano fueron 17a, 12b y 12a, de las cuales 17a fue la que tuvo el menor promedio de distancia con 214 metros. En el año 2000 las unidades que mostraron los valores máximos y mínimos no variaron con respecto al año 1997.

Durante el período 1997-2000, el 38,7% de las UF variaron el índice de distancia media al vecino más cercano. Porcentualmente, la UF en la cual se incrementó en mayor cantidad la distancia media al vecino más cercano fue 6c con una tasa de cambio anual de 0,7%, en la que se disminuyó en mayor cantidad la distancia media al vecino más cercano fue 17c, con una tasa de cambio de -0,8%.

En el año 2005, las UF con la mayor distancia media al vecino más cercano fueron 7b, 11b y 1a, siendo 7b la principal con una distancia de 4 855 metros. Las UF con la menor distancia media al vecino más cercano fueron 17a, 12a y 12b, de ellas 17a fue la que tuvo el menor promedio de distancia con 214 metros.

Durante el período 2000-2005, el 93,5% de las UF variaron su distancia media al vecino más cercano. Porcentualmente la UF en la cual se incrementó en mayor cantidad la distancia media al vecino más cercano fue 9a con una tasa de cambio anual de 3,5%, en la que se disminuyó en mayor cantidad la distancia media al vecino más cercano fue 15a con una tasa de cambio de -2,6%.

Discusión

Calvo-Alvarado (2009) señala que pocos países latinoamericanos cuentan con estudios detallados y frecuentes sobre la dinámica de su cobertura forestal, como es el caso de Costa Rica, debido a los esfuerzos realizados en los últimos años por la adecuada clasificación de imágenes satélite LANDSAT TM3, TM5 y TM7. Sin embargo, los mapas obtenidos a través de la clasificación digital de imágenes multiespectrales (como LANDSAT) presentan a menudo errores (Franklin *et al.* 2000; Zhu *et al.* 2000; Couturier *et al.* 2007, Fallas, 2002).

A pesar de esto, Calvo-Alvarado (2009) indica que para beneficio de la credibilidad de los resultados generados en estudios como el de cambios de cobertura forestal de Costa Rica 1997-2000 y el de cobertura forestal de Costa Rica 2005, la aplicación de material cartográfico y fotografías aéreas de diferentes periodos tales como Proyecto TERRA y CARTA, han permitido complementar y verificar independientemente la precisión de las clasificaciones generadas a partir de las imágenes LANDSAT, concluyendo que el error de clasificación general es muy bajo.

De acuerdo con Sánchez-Azofeifa *et al.* (2007) los resultados del estudio de la cobertura de Costa Rica en el año 2005 fueron evaluados a partir de 1 875 puntos de

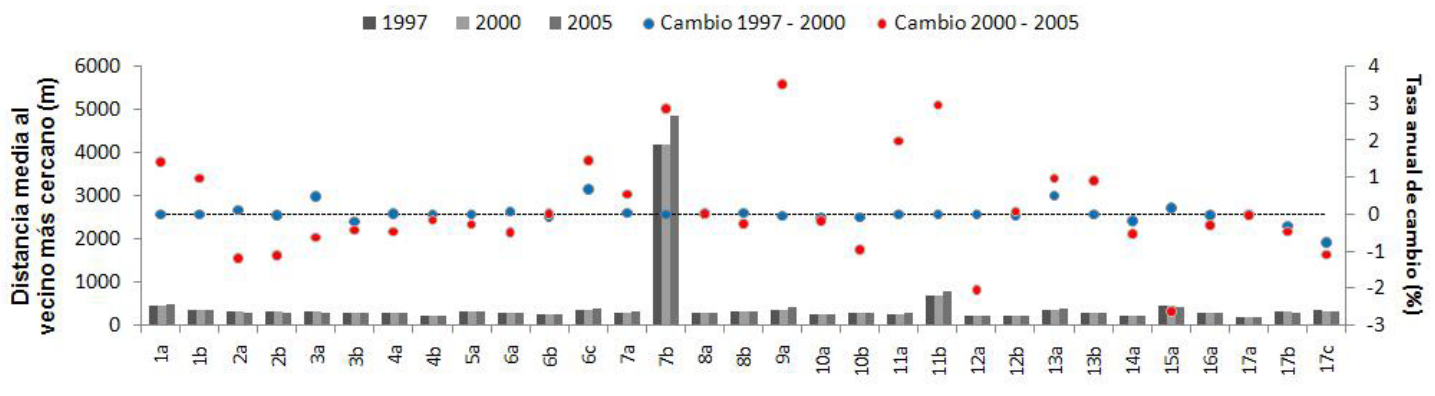


Figura 9. Distancia media al vecino más cercano (m)

control, obteniéndose un error de 9,9% en la clasificación total para el país, mientras que para la clase de bosque (cobertura de copa superior al 80%) se estimó en un 7,9%. En forma adicional se estimó que la precisión probabilística del estudio es del 80,2% utilizando el estadístico Tau. Este valor, en combinación con el error total observado en el mapa (9,9%), indican el alto grado de separación de las clases de bosque obtenido en el estudio.

Sánchez-Azofeifa *et al.* (2007) señala que los resultados anteriores son compatibles con los estudios de 1997 y el 2000, que presentan estadísticas con error similares.

A pesar del bajo error en la clasificación de las coberturas de los mapas utilizados como base para la estimación del área y grado de fragmentación de la cobertura forestal en Costa Rica por UF, es importante considerar que los resultados se ven afectados por los porcentajes de error mencionados anteriormente.

Período 1997-2000: A nivel nacional se deforestaron 9 139 ha durante el período, lo cual coincide con el valor reportado en el estudio de cobertura forestal de Costa Rica con imágenes LANDSAT TM 7 para el año 2000 (Sánchez -Azofeifa *et al.* 2002).

Con respecto a los verificadores o índices de fragmentación, todas aquellas UF que sufrieron deforestación presentaron una disminución del área de cobertura forestal remanente. Además, cada vez que el número de parches aumentó, la densidad aumentó y viceversa. Un paisaje con mayor densidad de fragmentos es más heterogéneo, mientras que una clase con mayor densidad de fragmentos está más fragmentada (McGarigal *et al.* 2002, Matteucci *et al.* 2004).

Las UF 3a (llanuras de Tortuguero, tierras bajas) y 17b (Laderas de Osa y filas Costeña, Cruces y Cal) fueron las que presentaron los porcentajes más altos de deforestación, la principal característica que comparten con respecto a los índices de fragmentación es que presentaron incremento en el número de parches. Gurrutxaga y Lozano (2008) afirman que un paisaje está más fragmentado cuanto menor es el tamaño de las manchas de hábitat y por consiguiente el número de fragmentos es mayor.

La UF 3a (llanuras de Tortuguero, tierras bajas) fue la que presentó el mayor porcentaje de deforestación en el país durante el período (54,8% del total). Para cada uno de los índices de fragmentación evaluados, ésta unidad siempre estuvo presente como una de las de mayor variación, se ubicó entre las tres unidades que presentaron mayor pérdida de área remanente de cobertura forestal, así como de las que más aumentaron el número de parches, la densidad de parches y la distancia media al vecino más cercano entre parches de bosque, encontrándose por lo tanto más dispersos.

La UF 17b (Laderas de Osa y filas Costeña, Cruces y Cal) fue la que presentó el segundo mayor porcentaje de deforestación (13,7% del área deforestada).

Tiene características similares a la UF anterior con la diferencia de que en este caso la distancia media al vecino más cercano disminuyó, por lo tanto los parches remanentes se encontraron más agrupados. Las unidades 3b, 10a y 16a también presentaron este tipo de arreglo.

De acuerdo con Sánchez - Azofeifa *et al.* (2002) la pérdida de cobertura durante este período se localizó en tres frentes: Península de Osa, Zona Atlántica y Zona Norte. Ambas unidades (3a y 17b) se ubican en dos de los tres frentes: Península de Osa y Zona Atlántica, representando en conjunto el 68,6% del área deforestada.

El 31,4% de área deforestada restante se distribuyó en 22 UF, las cuales presentaron una amplia gama de combinaciones con respecto a los índices de fragmentación, sin embargo no fué posible establecer un patrón específico de deforestación. Algunos ejemplos de las combinaciones en los índices de fragmentación son los siguientes: disminución del número de parches y aumento de la distancia media al vecino más cercano (UF 6a, 2a, 4a y 8b), disminución del número de parches y de la distancia media al vecino más cercano (UF 6b, 10b y 12b), entre otras.

Saunders *et al.* (1991), Andrén (1994) y Fahrig (2003) afirman que la alteración de los patrones espaciales de las manchas de hábitat, derivada de los procesos de fragmentación, se manifiesta a través de ciertas tendencias fundamentales entre las cuales se referencian el aumento en el número de fragmentos, disminución de la superficie total de hábitat, disminución del tamaño de los fragmentos, aumento de la separación entre los fragmentos.

Período 2000-2005: A nivel nacional, se deforestaron 23 699 ha durante el período, lo cual coincide con lo reportado en el estudio de monitoreo de cobertura forestal de Costa Rica 2005 (Sánchez - Azofeifa *et al.* 2007), el cual indica que para el año 2005, se presentó una recuperación de 169 914 ha de cobertura forestal y una deforestación de 23 689 ha.

El 74,2% de las UF evidenciaron procesos de deforestación, estas presentaron los siguientes dos comportamientos a nivel de paisaje:

a. Mostraron procesos de deforestación y de recuperación de la cobertura forestal en forma simultánea:

Este fue el caso de las UF 2b, 3a, 4b, 6a, 6b, 7a, 8a, 8b, 10a, 10b, 11b, 14a, 15a, 17b y 17c. En estas UF surgieron parches de bosque secundario o se incrementó el perímetro de los parches existentes con cobertura clasificada también como bosque secundario. Debido a esto se da la sustitución de tierras clasificadas en el 2000 como cobertura no forestal, nubes y cobertura no clasificada, en tierras de cobertura forestal para el 2005.

Cuando ocurren frentes de deforestación y a la vez igualmente procesos de recuperación, la fragmentación y restauración del paisaje adquiere un carácter muy dinámico (Sánchez - Azofeifa *et al.* 2007).

b. Mostraron procesos de deforestación sin que se presente recuperación de la cobertura forestal. Este fue el caso de las UF 1a, 1b, 2a, 3b, 9a, 13a, 13b y 16a:

Las UF 3a (llanuras de Tortuguero, tierras bajas) y 2a (llanuras de San Carlos, tierras bajas) fueron las que presentaron los porcentajes más altos de deforestación. El caso de la UF 3a fue el de mayor deforestación en el país durante el período con el 18,6% del área perdida, mientras que en 2a fue del 18,5%.

La UF 3a (llanuras de Tortuguero, tierras bajas), a pesar de mostrar el porcentaje más alto de deforestación, en términos absolutos presentó incremento de la cobertura forestal remanente, en otras palabras mostró procesos de deforestación y de recuperación de la cobertura forestal en forma simultánea. Además se incrementó el número de parches y la distancia media al vecino más cercano.

El caso de la UF 2a fue muy distinto, solamente se presentaron procesos de deforestación, por lo tanto el área remanente de cobertura forestal disminuyó, al igual que el número de parches y la distancia media al vecino más cercano aumentó.

El 62,9% restante del área deforestada se distribuyó en 21 UF, las cuales presentaron una amplia gama de arreglos de los índices de fragmentación; sin embargo, no existe alguno que se presente con mayor frecuencia. En general para todas las UF que sufrieron deforestación, cada vez que el número de parches aumentó también la densidad aumentó y viceversa.

Las UF 6b (pie de monte de la cuenca del Tempisque), 12b (cimas de la península de Nicoya) y 17b (laderas de Osa y filas Costeña, Cruces y Cal) fueron las que en términos absolutos presentaron mayor recuperación de cobertura forestal, de estas 6b y 17b presentaron simultáneamente procesos de recuperación y deforestación, mientras que 12b no mostró proceso de deforestación.

En el caso de las UF 6b y 17b, ambas presentaron incremento en el número de parches así como el mayor incremento del área remanente de cobertura forestal. En el caso de la unidad 17b la distancia media al vecino más cercano disminuyó.

El arreglo de 6b y 12b coincide con la afirmación de que la región Chorotega, dominada por bosques caducifolios, ha experimentado durante las últimas décadas un proceso de recuperación de cobertura forestal único en el país, además de que es la que tiene el proceso de recuperación más agresivo (Sánchez - Azofeifa *et al.* 2007)

En general se piensa que una de las principales consecuencias de la deforestación es la creación de paisajes más fragmentados (Forman y Godron 1981, Saunders *et al.* 1991, Dale *et al.* 1995, Kattan, 2002, Murrieta, 2006) y que estos paisajes fragmentados en consecuencia tendrán menor tamaño de las manchas de hábitat y por consiguiente un número de fragmentos mayor (Gurrutxaga y Lozano 2008).

Sin embargo, los resultados obtenidos no permiten justificar plenamente que un paisaje se encuentre más fragmentado como consecuencia de la deforestación. La disminución en el tamaño de las manchas de hábitat así como el aumento del número de fragmentos se puede deber a dos causas principalmente:

a. Por pérdida de la cobertura forestal: donde un parche inicial se ve disminuido en área y fragmentado por la corta del bosque y el consecuente cambio en el uso del suelo.

b. Por procesos de recuperación y deforestación de la cobertura forestal en forma simultánea: donde parches remanentes disminuyen su superficie o desaparecen, pero en otros sectores del área ocurre la reconversión de la cobertura no forestal, nubes o cobertura no clasificada en tierras de cobertura forestal (bosques secundarios en diferentes fases de desarrollo).

Conclusiones

Período 1997-2000

En este periodo, el área remanente de cobertura forestal representada en todas las UF disminuyó del 45,53% a un 45,35% del territorio nacional.

Tanto en términos absolutos como porcentuales la UF 3a (llanuras de Tortuguero, tierras bajas) fue la que presentó la mayor merma de cobertura forestal, con una tasa de cambio anual de -1%.

Se presentó una deforestación de 9 139 ha, de las cuales el 54,8% se concentró en la UF 3a (llanuras de Tortuguero, tierras bajas) y el 43,1% restante se distribuyó en otras 23UF.

Con respecto al número de parches, tanto para la cobertura forestal como no forestal, cada vez que el número de parches aumentó la densidad de parches aumentó y viceversa. Las UF que no presentaron deforestación tampoco mostraron variación de los distintos índices de fragmentación calculados.

Período 2000-2005

El área remanente de cobertura forestal representada en todas las UF aumentó del 45,35% a un 47,98% del territorio nacional.

En términos absolutos la UF 6b (pie de monte de la cuenca del Tempisque) presentó el mayor aumento de cobertura forestal, mientras que porcentualmente la mayor fue 15a (Valle del General) con una tasa de cambio anual de 7%. En términos absolutos la UF 2a (llanuras de San Carlos, tierras bajas) presentó la mayor merma, mientras que porcentualmente, la mayor se dió en 9a (Valle Central Occidental y Cerros de Turrubares) con una tasa de cambio anual de -2%.

Se deforestaron 23 699 ha, de estas el 18,6% se concentró en la UF 3a (llanuras de Tortuguero, tierras bajas), el 18,5% en la UF 2a (llanuras de San Carlos, tierras bajas) y el 62,9% restante se distribuyó en otras 21 UF.

De las 31 UF estudiadas

a. Quince UF mostraron procesos de recuperación y deforestación de la cobertura forestal en forma simultánea, las cuales fueron 2b (llanuras de San Carlos tierras elevadas), 3a (llanuras de Tortuguero, tierras bajas), 4b (estribaciones del Caribe de la cordillera de Talamanca), 6a (tierras bajas del Tempisque), 6b (pie de monte de la cuenca del Tempisque), 7a (laderas de los edificios volcánicos de Guanacaste), 8a (Cordillera de Tilarán), 8b (Cordillera Volcánica Central), 10a (laderas del litoral Caribe de Talamanca), 10b (laderas del litoral Pacífico de Talamanca), 11b (páramos de Talamanca), 14a (Fila Chonta), 15a (Valle del General), 17b (laderas de Osa y filas Costeña, Cruces y Cal) y 17c (llanuras de la península de Osa).

b. Solamente en 8 UF solamente se presentaron procesos de deforestación de la cobertura forestal, las cuales fueron 1a (llanuras de Guatuso tierras bajas), 1b (llanuras de Guatuso tierras elevadas), 2a (llanuras de San Carlos, tierras bajas), 3b (llanuras de Tortuguero, tierras elevadas), 9a (Valle Central Occidental y Cerros de Turubares), 13a (llanuras de Parrita), 13b (estribaciones occidentales de la cordillera de Talamanca) y 16a (Valle del Coto Brus).

c. Siete UF no sufrieron deforestación y presentaron incremento del área remanente de cobertura forestal, las cuales fueron 4a (tierras bajas del Caribe Sur), 5a (península de Santa Elena), 6c (cerros cársticos de la cuenca del Tempisque), 7b (cimas de los edificios volcánicos de Guanacaste), 11a (páramos de la cordillera Volcánica Central), 12a (laderas y zonas bajas de la península de Nicoya) y 12b (cimas de la península de Nicoya).

d. Solamente la UF 17a (Cimas de la península de Osa) se mantuvo sin variación de cobertura forestal.

El aumento del número de fragmentos se debió a dos causas principalmente: (1) por pérdida de cobertura forestal (fragmentación de parches) y (2) por procesos de recuperación (surgimiento de parches de bosque secundario).

Agradecimientos

A The Nature Conservancy (TNC) por el financiamiento para la ejecución de la presente investigación. Además se agradece el apoyo brindado por parte del PROMEC-CR.

Referencias

Andrén, H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: A review. *Oikos* no.71:355-366.

Calvo-Alvarado, J. 2009. Bosque, cobertura y recursos forestales 2008. Informe Estado de la Nación. Capítulo Armonía con la Naturaleza. XV Informe Estado de la Nación. San José, CR, El Informe. 26 p.

Couturier, S; Mas, JF; Vega, A; Tapia, V. 2007. Accuracy assessment of land cover maps in sub tropical countries: a sampling design for the Mexican National Forest Inventory Map. (en línea). *Online Journal of Earth Sciences* 1:127-135. Consultado 26 abr. 2011. Disponible en <http://www.medwelljournals.com/abstract/?doi=ojesci.2007.127.135>

Dale, VH; Offerman, H; Frohn, R; Gardner, RH. 1995. Landscape characterization and biodiversity research. In *Measuring and monitoring biodiversity in tropical and temperate forests*. IUFRO Symposium (1994, Chiang Mai, TH). Proceedings. Eds. T. Boyle y B. Boontawe. MY. CIFOR, IUFRO. p. 47-65.

EOSL (Earth Observation Systems Laboratory, CA). 2002. Cambio de cobertura de la tierra ocurrido en el período 1997-2000. (Capa georeferenciada Costa Rica Lambert Norte). In *ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica)*. 2004. Atlas digital de Costa Rica. (CD-ROM). Cartago, CR, ITCR, Escuela de Ingeniería Forestal. 1 CD-ROM.

EOSL (Earth Observation Systems Laboratory, CA); Universidad de Alberta, Depto. de Ciencias de la Tierra y la Atmósfera; ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica); FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, CR). 2006. Cobertura de la tierra ocurrido en el 2005. Capa georeferenciada Costa Rica Lambert Norte. In *ITCR*. 2004. Atlas digital de Costa Rica. (CD-ROM). Cartago, CR, ITCR, Escuela de Ingeniería Forestal. 1 CD-ROM.

Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology: Evolution and Systematics* no. 34 : 487-515.

Fallas, J. 2002. Normas y estándares para datos geoespaciales. (en línea). Heredia, CR, Universidad Nacional. Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. 49 p. Consultado 26 abr. 2011. Disponible en http://www.mapealo.com/Costaricageodigital/Documentos/alfabetizacion/NORMAS_ESTANDARES.pdf

Fallas, J. 2008. *Cr_proy_datum_2008.avx*: Transformación de datum y proyecciones de Costa Rica (CRLN, CRLS, CRTM98 y CRTM05) utilizando ArcView GIS®. Tutorial. Heredia, CR, GeoAmbiente. Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional. 13 p.

Forman, RTT; Godron, M. 1981. Patches and structural components for a landscape ecology. *Bioscience* 31(19):733-740.

Franklin, J; Woodcock, CE; Warbington, R. 2000. Multi-attribute vegetation maps of forest services lands in California supporting resource management decisions. (en línea). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66(10):1209-1217. Consultado 26 abr. 2011. Disponible en http://www.asprs.org/publications/pers/2000journal/october/2000_oct_1209-1217.pdf

Gurrutxaga San Vicente, M; Lozano Valencia, PJ. 2008. Ecología del paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. *Estudios Geográficos* 69(265):519-543.

INBio (Instituto Nacional de Biodiversidad, CR). 2006. Mapa de unidades fitogeográficas de Costa Rica. Heredia, CR, INBio. 1 mapa. Escala 1:50.000.

- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2004. Atlas digital de Costa Rica. (CD-ROM). Cartago, CR. Escuela de Ingeniería Forestal. 1 CD-ROM.
- Kattan, G. 2002. Fragmentación: Patrones y mecanismos de extinción de especies. In *Ecología y conservación Bosques Neotropicales*. Eds. MR. Guariguata y GH. Kattan. Cartago, CR, Ediciones LUR. p. 561-590.
- Matteucci, SD; Morello, J; Rodríguez, A; Mendoza, N. 2004. Mosaicos de paisaje y conservación regional: el Alto Paraná Encajonado argentino-paraguayo. Buenos Aires, AR, Universidad de Buenos Aires. Editorial de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. 160 p.
- McGarigal, K; Marks, B; Ene, E; Holmes, C. 2002. Fragstats: Spatial pattern analysis program for categorical maps. Software program designed to compute a wide variety of landscape metrics for categorical map patterns. (en línea). Massachusetts, US. University of Massachusetts. Consultado 29 set 2008. Disponible en <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, CR). 2007. Comisión Nacional para la gestión de la biodiversidad. (en línea). San José, CR, MINAET. Consultado 22 jun. 2009. Disponible en http://www.minae.go.cr/dependencias/desconcentradas/comision_de_la_biodiversidad.html
- Murrieta Arévalo, E. 2006. Caracterización de cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el corredor biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR. CATIE. 141 p.
- PNCB (Programa Nacional de Corredores Biológicos, CR); MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, CR); SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). 2008. Mapa de corredores biológicos de Costa Rica. In *ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2008. Atlas digital de Costa Rica. (CD-ROM). Cartago, CR, Escuela de Ingeniería Forestal. 1 CD-ROM. 1 Mapa. Escala 1 : 50 000.*
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, CA). 2006. Perspectiva mundial sobre la diversidad biológica 2. (en línea). Quebec, CA, PNUMA. Consultado 5 mayo 2009. Disponible en <http://www.cbd.int/doc/gbo/gbo2/cbd-gbo2-es.pdf>
- Puyravaud, JP. 2003. Standardizing the calculations of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* no. 177:593-596.
- Sánchez - Azofeifa, A; Calvo-Alvarado J; Foley, S; Arroyo, P; Hamilton, S; Jiménez, V. 2002. Estudio de cambios de cobertura forestal de Costa Rica 1997-2000. San José, CR, Alberta University, Edmonton y Centro Científico Tropical. 12 p. (Estudio elaborado para el FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, CR)).
- Sánchez - Azofeifa, A; Calvo-Alvarado, J; Chong, M; Castillo, M; Jiménez, V. 2007. Estudio de cobertura forestal de Costa Rica 2005. Parte I: Clasificación de la cobertura forestal con imágenes Landsat ETM+ 2005. San José, CR, Alberta University / Instituto Tecnológico de Costa Rica. 37 p. (Estudio elaborado para el FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, CR)).
- Sánchez Pardo, JC. 2008. Territorio y poblamiento en Galicia entre la antigüedad y la plena edad media. ES, Universidad de Santiago de Compostela. 524 p.
- Saunders, DA; Hobbs, RJ; Margules, CR. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Conservation Biology* 5(1):18-32.
- Silva, ME. 2003. Efectos ecológicos de la expansión urbana sobre las tierras agrícolas de la Pampa Ondulada, Buenos Aires, Argentina. Tesis M.Sc. AR, Universidad de Buenos Aires. 36 p.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). 2006. Mapa de áreas silvestre protegidas. San José, CR 1 mapa. Hojas Cartográficas 1: 50 000 (I.G.N.).
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). 2007a. Programa de Monitoreo Ecológico Terrestre de las Áreas Protegidas y Corredores Biológicos de Costa Rica (PROMEC-CR) Etapa I (2007-2001): Resúmen Ejecutivo. San José, CR, SINAC. 22 p.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR) MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR). 2007b. GRUAS II: Propuesta de ordenamiento territorial para la conservación de la biodiversidad de Costa Rica.: Análisis de vacíos en representatividad e integridad de la biodiversidad terrestre. San José, CR, SINAC. Vol 1. 100 p.
- Zhu, Z; Yang, L; Stehman, SV; Czaplowski, RL. 2000. Accuracy assessment for the U.S. Geological Survey Regional Land-Cover Mapping Program: New York and New Jersey Region. (en línea). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66:1425-1435. Consultado 26 abr. 2011. Disponible en http://www.asprs.org/publications/pers/2000journal/december/2000_dec_1425-1435.pdf