
Laboratorio de Sistemas de Observación Terrestre (EOSL)
Departamento de Ciencias de la Tierra y la Atmósfera
Universidad de Alberta

y

CENTRO CIENTÍFICO TROPICAL

ESTUDIO DE COBERTURA FORESTAL DE COSTA RICA CON IMÁGENES
LANDSAT TM 7 PARA EL AÑO 2000¹.

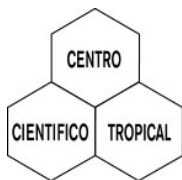
MARZO 2002

Equipo del EOSL.

Dr. Arturo Sánchez A. Ph.D.
Sherry Foley. B.Sc.
Stephen Hamilton. B.Sc.

Equipo del CCT:

Dr. Julio César Calvo. Ph.D.
Ing. Pablo Arroyo. M.SC.
Ing. Vladimir Jiménez. B.Fo



¹ Este estudio ha sido financiado por fondos de la Universidad de Alberta y con el Convenio de Cooperación Centro Científico Tropical-Universidad de Alberta. Asimismo, el Fondo de Financiamiento Forestal de Costa Rica (FONAFIFO) ha colaborado con la realización de este estudio como co-patronizado.

I. CONTEXTO Y OBJETIVOS

Como resultado del análisis de la cobertura forestal utilizando sensores de percepción remota en 1997 se estimó que el país tenía una cobertura forestal del 44%, así como una deforestación cercana al 1% anual (Castro y Arias, 1998). Este estudio rompió la concepción errónea de que la extensión real de la cobertura forestal del país, que por muchos años, era en el orden del 17% (Sader y Joyce, 1988). Lo anterior se mantuvo como una concepción en muchas publicaciones científicas y reportes de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, a pesar de que para 1996, Sánchez-Azofeifa (1996) estimó que la cobertura del bosque siempre-verde en el ámbito nacional era superior al 30% considerando una cobertura de nubes del 17% del territorio nacional.

En forma adicional, el estudio realizado por el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) en 1997, coordinado por el Centro Científico Tropical y el Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible (CIEDES-UCR), confirma la conclusión de Sánchez-Azofeifa (1996) de que la cobertura forestal establecida por Sader y Joyce (1988) estaba subestimada, además de confirmar que la tasa de deforestación nacional en la década comprendida entre 1986 y 1997 había caído considerablemente comparada con la tasa de deforestación cercana al 4% anual de la década de los años 70s y principios de los años 90s (Sanchez-Azofeifa et al. 2001).

Con el fin de verificar si los resultados obtenidos en 1997 eran consistentes y con el fin de generar un mapa base para el año 2000 que sirviera para fines de planificación a nivel Nacional, el Centro Científico Tropical (CCT) y el Laboratorio de Sistemas de Observación Terrestre (EOSL) del Departamento de Ciencias de la Tierra y la Atmósfera de la Universidad de Alberta en Canadá, procedieron a la realización de un estudio cuyos objetivos principales fueron los siguientes:

- **OBJETIVO NO. 1:** Estimar la cobertura de bosque para Costa Rica (80% de cobertura de copa) para todo el territorio nacional para el año 2000/2001.
- **OBJETIVO NO. 2:** Estimar las tasas de pérdida de cobertura y crecimiento secundario para el período 97-00.

Con el fin de alcanzar estos objetivos se procedió a la interpretación de 6 imágenes Landsat del satélite Mapeador Temático. Estas imágenes fueron adquiridas entre enero del 2000 y julio del 2001. Todas las imágenes se adquieren con una cobertura de nubes menor del 10%, en aquellos casos en los cuales la cobertura de nubes es superior al 10% más de dos imágenes se adquirieron con el fin de completar un mosaico con la mínima cobertura de nubes.

II. METODOLOGÍA:

La implementación de análisis de la cobertura forestal de Costa Rica es parte de un seguimiento sostenido del estudio realizado para FONAFIFO en 1997. Este estudio sigue la misma metodología, con el fin de asegurar la compatibilidad de resultados. El estudio aplicó una metodología definida por el proyecto de la NASA denominado: NASA Pathfinder (Skole and Tucker, 1993). El proyecto NASA Pathfinder es una iniciativa de carácter internacional orientada a estandarizar estudios espaciales de deforestación en zonas tropicales (Brazil, el sureste asiático y África Central).

Debido a los problemas detectados en estudios anteriores en el bosque seco tropical (Pfaff et al. 2000, Sánchez-Azofeifa et al. 2001), la metodología seguida en este estudio ha sido dividida en dos componentes basados en el tipo de bosque presente: la metodología de NASA pathfinder para el bosque húmedo del país y la metodología de un estudio especial en la región del bosque seco tropical de la Provincia de Guanacaste.

II. a) LA METODOLOGÍA NASA PATHFINDER PARA BOSQUES HÚMEDOS:

La metodología NASA pathfinder para bosques húmedos ha sido ampliamente explicada por Skole y Tuckett (1993), Castro y Arias (1998) y Sánchez-Azofeifa (2001). Esta metodología está basada en una interpretación semi-automática de imágenes del satélite Landsat Mapeador Temático (TM por sus siglas en inglés) y consiste en siete fases:

FASE NO. 1: LIMPIEZA DE NUBES Y AGUAS CONTINENTALES. Nubes, sombra de nubes y aguas continentales (lagos, reservorios y ríos) son extraídas de la imagen utilizando una clasificación sin-supervisar. Estas clases son utilizadas para crear una máscara la cual se le aplica a la imagen con el fin de simplificar la clasificación. Esta máscara es agregada al mapa final una vez que todos los controles de calidad han sido establecidos.

FASE NO. 2: ORTORECTIFICACION DE LA IMAGEN. Todas las imágenes son ortorectificadas a mapas 1:50,000 producidos por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica. Las imágenes son remuestradas a una resolución de 28.5 metros utilizando un procedimiento denominado “vecino más cercano” con el fin de disminuir el impacto en la respuesta espectral de las clases a seleccionar. Las imágenes son aceptadas o rechazadas dependiendo del error obtenido a partir del chequeo independiente de desplazamiento horizontal (X y Y). Este proceso es un auditoraje interno (denominado “Auditoraje de ortorectificación ©²” y de carácter independiente que utiliza mapas digitales 1:50,000 y la selección de 40 puntos aleatorios en la imagen y los mapas. Si el error de desplazamiento horizontal obtenido en él auditoraje es superior a 1 pixel o 28.5 metros la imagen no es aceptada para el análisis. Este proceso de ortorectificación se repite hasta que se alcanza un error promedio menor de 28.5 metros.

FASE NO. 3: GENERACIÓN DE PRODUCTOS FOTOGRÁFICOS. Productos fotográficos escala 1:250,000 son generados a partir de la imagen a la cual se le ha aplicado el filtro de nubes y agua continental. Estos productos fotográficos son producidos a partir de imágenes que han

² Patentado por el EOSL

sido modificadas con el fin de mejorar su apariencia estética. Esta modificación se realiza también con el objetivo de ayudar en el proceso visual control de calidad. Este producto fotográfico se produce utilizando las bandas 4, 3 y 2 del Mapeador Temático.

FASE NO. 4: INTERPRETACIÓN AUTOMÁTICA. Este proceso involucra la clasificación automática utilizando un sistema sin supervisión conocido como ISODATA. El sistema esta basado en la selección de 45 grupos con información espectral similar (dentro de una media y desviación estándar definida). Esto permite separar en forma adecuada aquellos bosques cuya cobertura de copa es superior al 80% y su edad es mayor de 25 años (Sanchez-Azofeifa, 1996).

Fase No. 5: Clasificación de Cobertura Forestal-No Cobertura Forestal. Una vez que los grupos espectrales han sido seleccionados en la fase número 2, esta fase se encarga de poner títulos cada una las clases espectrales seleccionadas. Esto se realiza por medio de un proceso interactivo que involucra el despliegue simultáneo de la imagen de satélite y la clasificación en la misma pantalla. Las clases seleccionadas a este nivel son: Cobertura Forestal (ecosistemas forestales de copa superior al 80%) y No-Cobertura Forestal (tierras agrícolas, pastizales, charales, cafetales con y sin sombra). En esta fase se utiliza en forma adicional fotografía digital ortorectificada de aérea Proyecto TERRA-1997 escala 1:40,000 proporcionada por el FONAFIFO.

FASE NO. 6: CONTROL DE CALIDAD UTILIZANDO EL PRODUCTO FOTOGRÁFICO. La imagen clasificada se imprime en papel transparente escala 1:250,000 (misma escala del producto fotográfico) y es sobrepuesta en una mesa de luz. En forma adicional, la imagen es dividida en un total de 40 cuadrantes con el fin de facilitar el seguimiento de las áreas que se están verificando. Cada cuadrante es chequeado en forma independiente utilizando tanto el producto fotográfico como la fotografía aérea. Aquellas áreas que se determinan con errores de clasificación son marcadas en el papel y enviadas para su corrección a la computadora. En la computadora las áreas detectadas con errores son seleccionadas y sus títulos se cambian para reflejar el nuevo patrón de la clasificación. Este proceso se repite el número de veces que es necesario con el fin de asegurar que solamente aquellas áreas determinadas como bosque son verdaderamente extraídas. Este proceso no es realizado por la misma persona que ha realizado la clasificación. En este proceso el control de calidad fue realizado en forma independiente del EOSL por personal del FONAFIFO y del Centro Científico Tropical con el fin de evitar sesgos no aleatorios en el proceso de generación y titulación de clases espectrales³.

FASE NO. 7: INTEGRACIÓN Y ANÁLISIS. Una vez que todas las imágenes han pasado control de calidad y existe un nivel de consistencia en la extracción de la cobertura de bosque, las mismas son integradas en un mosaico. Las áreas de sobre-posición (cerca de un 10% entre imágenes) son minimizadas por medio de un sistema desarrollado por el EOSL que permite solamente que un píxel exista en la supervisión, este algoritmo permite evitar errores asociados con la fenología o bien con la presencia de anomalías de carácter temporal que

³ El Ing. Alberto Méndez de FONAFIFO y el Ing. Vladimir Jiménez del CCT visitaron el EL Laboratorio de Sistemas de Observación Terrestre (EOSL) en el mes de Septiembre de 2001 para realizar esta labor.

pueden existir en la imagen de satélite. Una vez que el mosaico es creado, se procede al análisis temporal con la cobertura de uso de la tierra de 1997.

II. b) METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DEL BOSQUE SECO TROPICAL:

Para el bosque seco tropical el análisis de cobertura forestal se lleva a cabo con una imagen Landsat ETM+ del mes de enero del año 2000. A diferencia de estudios anteriores en el que se usaron imágenes de los meses más secos de la estación seca, en el presente estudio se utiliza una imagen de la transición de la época lluviosa a la época seca, donde es posible detectar mayor cantidad de área boscosa mediante análisis espectral en el bosque caducifolio de Guanacaste y la Península de Nicoya. Teniendo en cuenta lo anterior, este es un resumen de los pasos seguidos para clasificar el bosque seco de provincia de Guanacaste y la Península de Nicoya.

Fase No. 1: ANÁLISIS PRELIMINARES Y RECOLECCION DE INFORMACIÓN DE CAMPO. Esta fase se realiza una vez que la imagen seleccionada es ortorectificada y el proceso de auditoria es aplicado. El aspecto básico de esta fase es la recolección de información de campo para realizar la clasificación de la imagen. Con tal fin, se generan productos fotográficos 1:50 000 con los caminos del área de estudio superpuestos. Con estos datos se toman al menos 25 puntos de control de campo por clase definida (bosque, pastos, cultivos agrícolas, bosques secundarios) para un total de 209 puntos en toda el área de estudio. Una excepción al número de puntos son los mangles, los cuales presentan áreas muy homogéneas y localizadas dentro del área de estudio (5 puntos de control de campo). Con esta información se lleva a cabo un clasificación supervisada, en la cual primeramente se crean las firmas espectrales para los 209 puntos de control de campo y luego se fusionan las firmas espectrales de estos 209 puntos de control de campo en 4 clases principales: bosque (incluye bosque secundario), no bosque (incluye pastos y agricultura) y manglares, agua.

Fase No. 2: CORRECCIÓN DE PROBLEMAS DE LA CLASIFICACIÓN: Luego de generada la primera clasificación del área de estudio, se procede a la corrección de problemas en la clasificación de la clase bosque, clase que en terrenos de alta pendiente en la Península de Nicoya son en general confundidos por el clasificador como manglar. Para esta corrección se utiliza un modelo de elevación digital (MED) de 30 m x 30 m producido a partir de las hojas cartográficas 1:50,000 del Instituto Geográfico Nacional. Con este MED fue posible reclasificar estas áreas erróneas. Luego de este proceso, dos fuentes independientes (Centro Científico Tropical y FONAFIFO) llevaron a cabo el control de calidad de la clasificación utilizando fotografías áreas a color escala 1: 40 000 del Proyecto TERRA facilitadas por FONAFIFO. Este intenso control de calidad permite reclasificar áreas clasificadas incorrectamente y producir un mapa de bosque/no bosque bastante fiel a la realidad del área de estudio.

Fase No. 3: VALIDACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD: Luego de obtenido el mapa pos- control de calidad se procedió a la validación del mapa de bosque/no bosque para el área de estudio. Con dos bases independientes de datos facilitadas por el Centro Científico Tropical (de 1998) y la Organización para Estudios Tropicales (del año 2000), se llevó a cabo a validar el

mapa de cobertura forestal. Con un total de 200 puntos de validación, distribuidos en toda el área de estudio, se generó automáticamente en computadora una matriz de correspondencia, la cual se utilizó para obtener la precisión de la clasificación. Finalmente se integró este mapa a la clasificación del resto del país con la misma metodología utilizada para el mosaico.

II c) IMAGENES LANDSAT UTILIZADAS

Para este estudio se emplearon 7 imágenes LandSat T.M. cuyas trayectoria (Path) y Filas (Row) y nombres respectivos asignados fueron: P16 R52 - Rivas, P16 R53 - Guanacaste, P15 R53 - San José, P14 P53 - Limón, P15 R 54 - Quepos y P14 R54 -. Se adquirieron dos imágenes de satélite de San José a efectos de eliminar la alta nubosidad de algunos sectores (una Landsat ETM+ del 2000 y otra Landsat 5 del 2000), ya que como criterio de selección se estableció que las imágenes no debían tener más de 20% de cobertura de nubes.

Con el fin de uniformizar el proceso de comparación con los mapas generados en el estudio del FONAFIFO de 1987, se procedió a crear una máscara de nubes que es consistente a lo largo de los tres años analizados. Esta máscara de nubes, permite cuantificar la en forma consistente los cambios de en la cobertura forestal utilizando una matriz de cambio uniformizada.

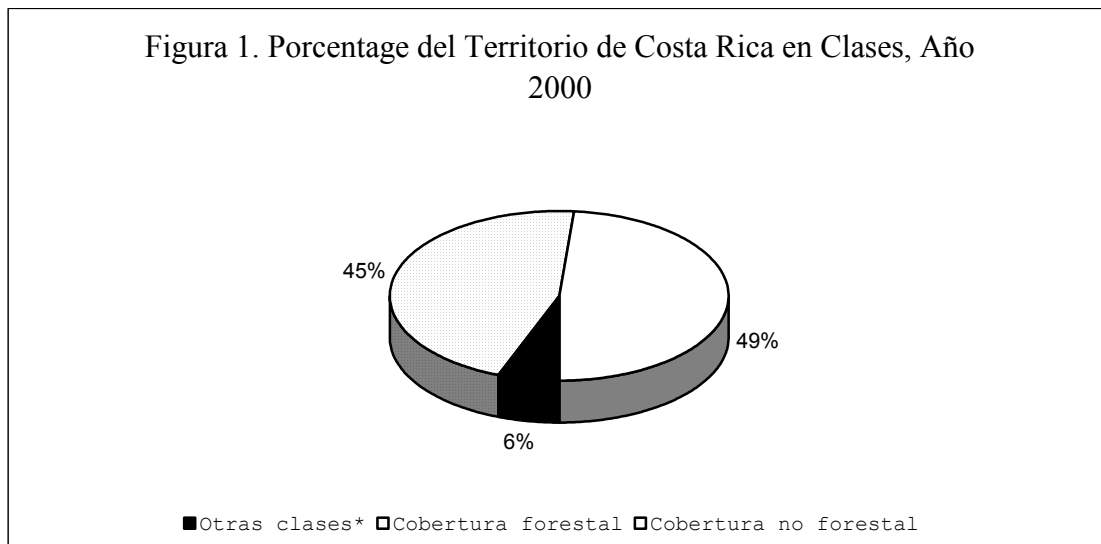
III. RESULTADOS:

Los siguientes cuadros y figuras presentan los resultados mas sobresalientes de este estudio:

Cuadro 1. Área en km² por clase para clasificación del 2000 para Costa Rica.

Clase	Area (Km ²)	% del Area Total
Plantaciones	54	0.1
Pérdida de Cobertura en el período 97-2000	91	0.2
Páramo	99	0.2
Sin datos	125	0.2
Agua	244	0.5
Mangle	418	0.8
Nubes	2,007	3.9
Cobertura Forestal	23,185	45.4
No Cobertura Forestal	24,812	48.6
Total	51,035	100.0

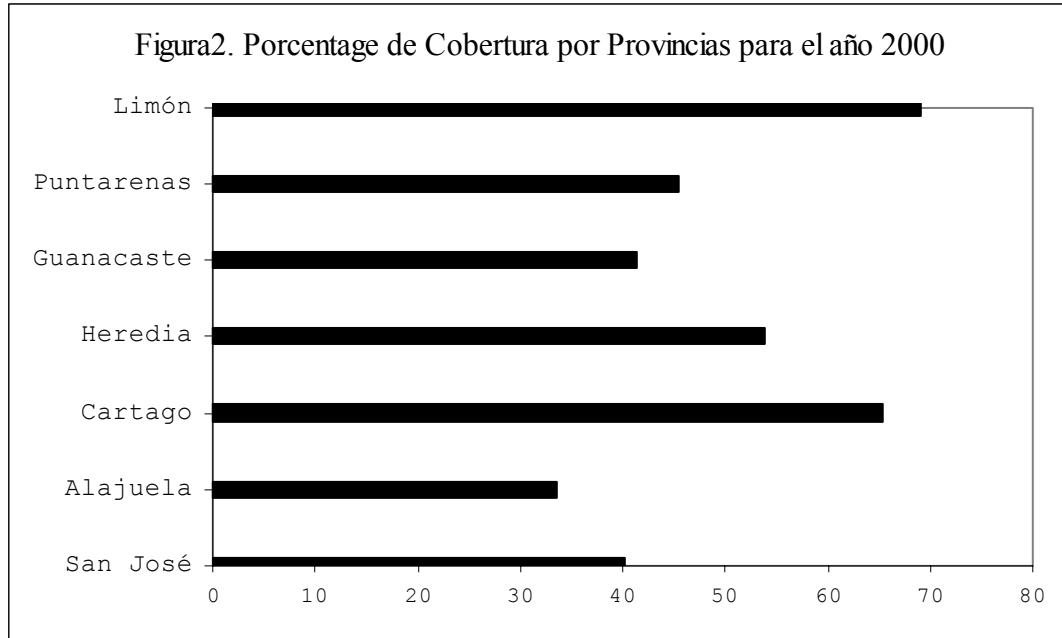
Nota: los siguientes cuadros se analizan basados solamente en la cobertura forestal y no-cobertura forestal (94% del área total)



*: Corresponde a: plantaciones, pérdida de cobertura en el período 97-2000, Páramo, sin datos, agua, mangle y nubes.

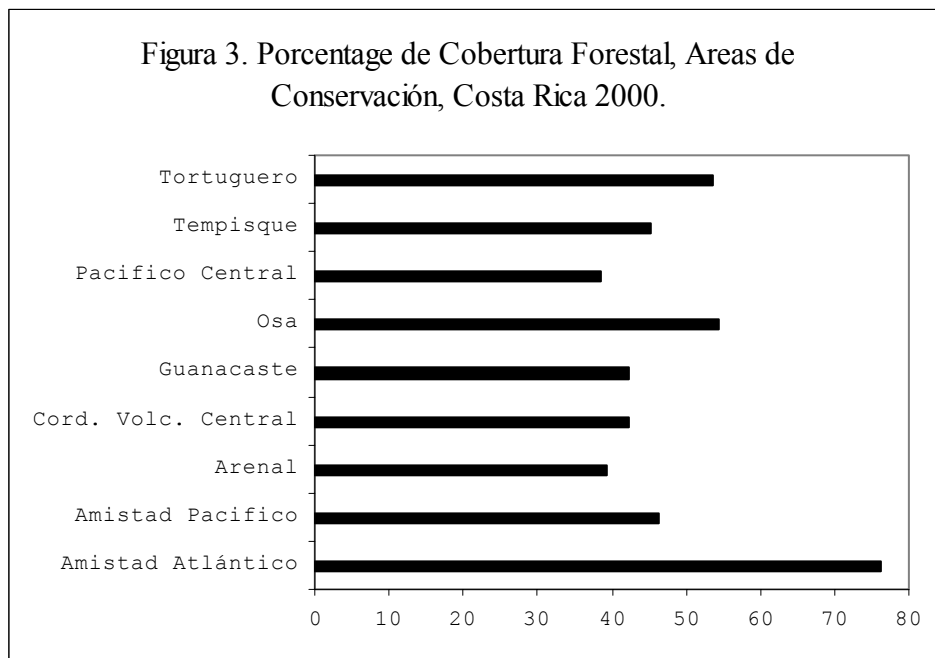
Cuadro 2. Área de Cobertura Forestal y no-Cobertura Forestal (Km²) por provincia para clasificación del 2000 para Costa Rica

Provincia	Cobertura forestal	% Cobertura	No Cobertura Forestal
San José	1,974	40.2	2,936
Alajuela	2,634	33.6	5,204
Cartago	1,991	65.4	1,055
Heredia	1,417	53.8	1,215
Guanacaste	4,125	41.4	5,829
Puntarenas	4,851	45.5	5,813
Limón	6,192	69.2	2,760
Total	23,185	48.3	24,812



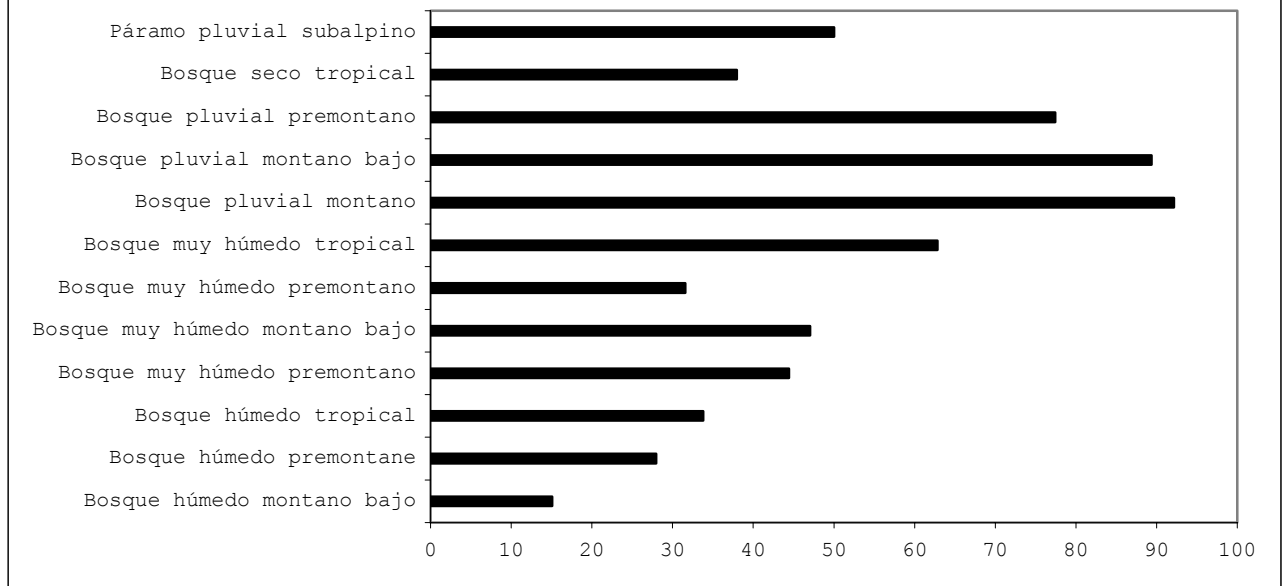
Cuadro 3. Área de bosque y no-bosque por zona de conservación para clasificación del 2000 para Costa Rica

Nombre	Área Bosque(Km ²)	Área No Bosque (Km ²)
Amistad Atlántico	4,597	1,443
Amistad Pacifico	2,823	3,276
Arenal	2,824	4,359
Cord. Volc. Central	2,383	3,255
Guanacaste	1,484	2,025
Osa	2,106	1,760
Pacifico Central	2,045	3,268
Tempisque	3,345	4,061
Tortuguero	1,578	1,365
Total	23,185	24,812



Cuadro 4. Área de bosque y no-bosque por zona de vida para clasificación del 2000 para Costa Rica

Zona de vida	Área Bosque(Km ²)	Área No Bosque (Km ²)
Bosque húmedo montano bajo	36	203
Bosque húmedo premontane	1,505	3,880
Bosque húmedo tropical	3,134	6,142
Bosque muy húmedo premontano	8	10
Bosque muy húmedo montano bajo	527	593
Bosque muy húmedo premontano	3,592	7,781
Bosque muy húmedo tropical	6,909	4,087
Bosque pluvial montano	1,126	96
Bosque pluvial montano bajo	3,068	365
Bosque pluvial premontano	2,757	804
Bosque seco tropical	518	847
Páramo pluvial subalpino	2	2
Agua	2	2
Grand Total	23,185	24,812

Figura 4. Porcentaje Cobertura Forestal por Zonas de Vida, Costa Rica año 2000.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

De acuerdo con los resultados de este estudio Costa Rica tiene aproximadamente tiene 45.4% de cobertura forestal, y si se suma los manglares y las plantaciones forestales se llega a 46.3%. El último estudio detectó un 40.3% de cobertura forestal (CCT-CIEDES-CI 1998) y la diferencia con este estudio se debe básicamente a dos aspectos: a) este estudio se realizó con un 3.9% de cobertura de nubes versus 8.7% del estudio de 1997 y b) este estudio mejoró sustancialmente la detección de bosque seco tropical en Guanacaste y la Península de Nicoya.

Durante el período 1997-2000 se experimenta una pérdida de cobertura forestal de 9,100 has, equivalente a una tasa de pérdida de 3000 ha/año, menor que la tasa detectada para el periodo 1987-1997 de 12,000 ha/año, lo que confirma una fuerte tendencia a disminuir el proceso de cambio de uso de la tierra. Esta pérdida de cobertura se focaliza en tres frentes: Península de Osa, Zona Atlántica y Zona Norte. Estas zonas son donde aún existe procesos de cambio de uso de la tierra muy probablemente asociado a un desmedido aprovechamiento de los bosques y al proceso de extracción final de algunas plantaciones forestales que cumplieron el turno de cosecha.

Durante este periodo de tres años no se detecta recuperación de cobertura debido al poco tiempo de diferencia entre este y el último estudio. Además debe quedar claro que el Bosque Seco Tropical de Guanacaste y la Península de Nicoya fue reclasificado con un nuevo protocolo y por lo tanto no es metodológicamente conveniente hacer una comparación de cobertura entre 1997 y el 2000 de Bosque Seco. Este análisis se está realizando en este momento en forma independiente por el EOSL y el CCT pero no es parte de este estudio.

Es importante notar que en este estudio el área de bosque extraída en el presente estudio excede en 153 km² al área extraída 1997 en bosque seco tropical. Esta diferencia no se puede asignar a procesos de regeneración dado que la misma obedece a una mejor clasificación por calidad de imágenes y protocolos de clasificación. Para el área de estudio de bosque seco la precisión global fue de 89%, pero para la clase de bosque fue de 93%. Para más información sobre la clasificación de bosque seco tropical se puede consultar la tesis de Pablo Arroyo (2002).

Para el estudio del error global de la clasificación bosque húmedo se utilizó la misma base de datos recopilada por el Centro Científico Tropical en 1998. Las áreas seleccionadas en este estudio no cambiaron en los últimos dos años. La precisión global estimada para la clasificación de cobertura forestal / no-cobertura forestal es del 92%. Este análisis corresponde al uso de 800 puntos de control de calidad. Mayor información con respecto a la selección de estos puntos se puede obtener del informe provisto al FONAFIFO por el CIEDES y el Centro Científico Tropical en 1998.

Por efectos de iluminación (sombra topográfica) algunos cafetales con sombra en pendientes fuertes no se lograron separar espectralmente y por tanto son áreas que entran dentro del

error del estudio. No obstante se debe hacer la aclaración que con las fotografías TERRA se trató en lo posible de eliminar este error.

Otro tipo de información se puede derivar de los Cuadros y Figuras 2, 3 y 4 ilustran la distribución de la cobertura forestal a nivel de Provincias, Areas de Conservación y Zonas de Vida.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Los resultados son una base científica para la planificación y formulación de políticas para la conservación y el desarrollo. Un análisis más detallado de la cobertura, su pérdida y fragmentación con cruces con bases de datos como: Corredores Biológicos, Areas de Protección y Cuencas Prioritarias puede sin duda aún aumentar la importancia y contribución de este estudio en materia política y de planificación.

Las Imágenes Landsat tienen hoy día un precio muy accesible y por tanto vale la pena seguir mejorando los protocolos de clasificación hasta lograr en lo posible diferenciar bosque maduro, bosque secundario, plantaciones forestales, y café con sombra. Con estas mejoras se puede dar un seguimiento oportuno y económico de la dinámica de la cobertura forestal en Costa Rica. En estos momentos el EOSL y el CCT están en las etapas preliminares asociados con la implementación del seguimiento de este estudio en el 2004/2005.

Otras imágenes disponibles en el mercado con mejor resolución tienen un precio muy alto (IKONOS (4 m de resolución espacial) y QuickBird (2.44 m de resolución espacial)), pero adelantarnos a sus aplicaciones se debe ir desarrollando protocolos de clasificación que permitan apropiarnos de la tecnología y así estar prestos a contribuir aún más en el desarrollo y conservación de nuestros recursos. Imágenes IKONOS y Quickbird para el Parque Nacional Santa Rosa, la Hacienda Los Inocentes en Guanacaste y la región de la Selva de Sarapiquí se han adquirido con el fin de continuar con estudios exploratorios que puedan ayudar en el estudio planeado para el 2004/2005.

VI. AGRADECIMIENTOS:

Los investigadores reconocen el apoyo de la Fundación para la Ciencia de los Estados Unidos de América (NSF), la Fundación Tinker, La Agencia Ambiental de la Provincia de Alberta, Canadá (Alberta Environment), la Fundación Canadiense para la Innovación (CFI), al programa Russell E. Train del Fondo Mundial para la Naturaleza que financió en forma parcial el estudio del bosque seco en Guanacaste y la Peínsula de Nicoya, y especialmente la contribución del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO).

VII. REFERENCIAS

<p>Arroyo-Mora, J. P. 2002. Forest Cover assessment, fragmentation analysis and secondary forest detection for the Chorotega Region, Costa Rica. M.Sc. Thesis. Department of Earth and Atmospheric Sciences. University of Alberta. Edmonton. Canada. 111 p.</p>
<p>Castro y Arias, n.d.a. Costa Rica: Towards the sustainability of its Forest Resources. Technical note.</p>
<p>Pfaff, A.S.P.; Kerr, S.; Hughs, F.; Liu, S.; Sánchez-Azofeifa, G.A.; Schimel, D.; Tosi, J.; Watson, V. 2000. The Kyoto protocol and payments for tropical forest: An interdisciplinary method for estimating carbon-forest supply and increasing the feasibility of a carbon market under the CDM. <i>Ecological Economics</i>. 35, 203-221</p>
<p>Sader, S.; Joyce, A.T. 1988. Deforestation rates and trends in Costa Rica, 1940 to 1983. <i>Biotropica</i>. 20(1): 11-19</p>
<p>Sánchez-Azofeifa, G.A.; Harriss, R.C.; Skole, D.L. 2001. Deforestation in Costa Rica: A quantitative analysis using remote sensing imagery. <i>Biotropica</i>. 33(3): 378-384</p>
<p>Sánchez-Azofeifa, G.A. 1996. Assessing Land Use/Cover Change in Costa Rica. Doctoral dissertation. University of New Hampshire. 181 p.</p>