

## USO Y COBERTURA DE LA TIERRA EN COSTA RICA PARA 1992: UNA APLICACION DE TELEDETECCION ESPACIAL Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

Jorge Fallas G.<sup>1</sup>  
Basil Savitsky<sup>2</sup>

### RESUMEN

En el presente artículo se describe el procedimiento utilizado para actualizar el mapa de uso y cobertura de la tierra de Costa Rica para el año 1992. En el proceso se integró la cartografía analógica existente para 1985 a escala 1:200.000 e imágenes digitales del Mapeador Temático de LANDSAT para los años 1991 y 1993. Para comprobar la exactitud de la clasificación se usaron 1.372 puntos obtenidos de fotos aéreas de 1992 y trabajo de campo empleando un Sistema de Posicionamiento Global (SPG). Los resultados obtenidos indican que existe un 46,6% del país bajo pastos, un 32,9 bajo bosques y un 8,5% bajo uso agrícola. Un 7,8% del área se incluyó en una categoría denominada «no clasificada, usos mezclados, deforestada». La exactitud global de la clasificación fue de un 74%; con una confusión entre pasto y bosque de un 19%.

1. Director, Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (TeleSig). Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre y Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional, Heredia. E-Mail: Jgamboa.@irazu.una.ac.cr.
2. Coordinador, Programa de Maestría en Sistemas de Información Geográfica y Desarrollo Internacional, Universidad de Clark, MA, USA.

## SUMMARY

The objective of this paper is to describe the process used by the authors to update the preliminary 1985 land use-land cover map of Costa Rica. Paper maps of 1985 at scale 1:200.000 were digitized, rasterized and used to label the output of a non-supervised classification carried out using 1991-93 digital data from LANDSAT 5 (Thematic Mapper). Aerial photography and field work aided by a Global Positional System (GPS) was used to gather ground-truth data. A total of 1372 stratified points were used to test the accuracy of the final map. Our results showed that 46,6% of the country is under pasture, 32,9 % under forest and 8,5% under agriculture. The non-classified areas were lumped into one category that accounted for 7,8% of the country. Global accuracy of the classification was 74% with the confusion between forest and pasture accounting for a 19% of this error.

## 1. INTRODUCCION

La presente investigación fue financiada con el apoyo de la donación N° HRN-5600-G-00-2008-00, del Programa de Cooperación de Ciencias y Tecnología de la Oficina del Asesor de Ciencias de la Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos de América (USAID).

La teledetección es una mezcla de ciencia, arte y tecnología, cuyos orígenes se remontan a 1839, con el desarrollo del proceso fotográfico por Nicephore Niepce, William Henry Fox Talbot y Louis Jacques Mande Daguerre. La adquisición de fotos desde plataformas aéreas se inició en 1858, cuando Gaspard Felix Tournachon tomó la primera foto aérea utilizando un globo en Bievre, Francia. En cuanto al desarrollo de instrumentos para el análisis de las fotos tenemos que en 1838 Wheatstone exhibió el primer estereoscopio en Gran Bretaña. Las aplicaciones de la teledetección datan de 1862, cuando las fotos aéreas fueron usadas con fines militares por parte de Ejército de la Unión, en la guerra civil de los Estados Unidos. Durante la Segunda Guerra Mundial se empleó por primera vez la película infrarroja y el radar y se mejoran las plataformas de observación. En el período de posguerra se desarrolló el SLAR (radar de visión lateral aerotransportado) y los sensores térmicos de barrido (SCANNERS). La teledetección desde plataformas espaciales comenzó en 1961, cuando Alan B. Shepard tomó las primeras fotografías durante una de las misiones del programa Mercury. Sin embargo, no es sino hasta julio de 1972 cuando se inicia la adquisición de imágenes digitales satelitarias de la Tierra. En dicho mes la NASA, EUA, puso en órbita el ERTS I (Earth Resources Technology Satellite), el cual fue posteriormente denominado LANDSAT 1. En el mes de enero de 1975 el ERTS II es puesto en órbita y su nombre cambia a LANDSAT 2. El satélite LANDSAT 3 fue puesto en órbita en el mes de marzo de 1978. En julio de 1982 el satélite LANDSAT 4 es puesto en órbita y poco después de su lanzamiento es desactivado por defectos en su sistema eléctrico.

En marzo de 1984 es puesto en órbita el último satélite de la serie LANDSAT (LANDSAT 5), el cual se conoce también como Mapeador Temático. En febrero de 1986 se inauguró el programa espacial de Francia, Suecia y Bélgica con la puesta en órbita del satélite SPOT-1 (Système Pour l'Observation de la Terre). Por su parte, la India puso en órbita su satélite denominado IRS-1 en 1988. En 1990 el segundo satélite de la serie SPOT es puesto en órbita y en 1993 el tercero. La década de los 90 marca el inicio del programa de teledetección espacial usando radar de apertura sintética (Lillesand y Kiefer, 1994). En 1991 la Comunidad Europea pone en órbita su primer satélite (ERS-1) y en 1995 su segundo satélite (ERS-2). Por su parte el gobierno de Canadá, asimismo, entró en el mundo de la teledetección espacial con su satélite RADARSAT en 1995 (Nazarenko, Staples y Aspden, 1996). Como puede observarse en la actualidad existe toda una gama de sensores y satélites disponibles a los usuarios en el campo de los recursos naturales.

En Costa Rica, las primeras actividades en el campo de la teledetección se remontan a 1940, con la adquisición de fotos aéreas para planificar la construcción de la Carretera Interamericana y, posteriormente, con la toma de fotografías aéreas para elaborar la cartografía básica del país (Instituto Geográfico Nacional, 1992). La experiencia del país en el campo de la teledetección espacial es limitada, aunque se han realizado trabajos utilizando imágenes de plataformas espaciales (ej. programa de cooperación con IRIM de Michigan en 1978 y convenio de cooperación entre IGN y NASA en 1984). Otras instituciones como RECOPE han usado imágenes de radar (SAR) para la prospección de hidrocarburos (Instituto Geográfico Nacional, 1992). Dams et al. (1987) empleó radar de banda X (3 cm) para elaborar una clasificación de uso y cobertura del suelo en diferentes sectores del territorio nacional. Sader y Joyce (1988) utilizaron imágenes MSS de LANDSAT para estimar tasas de deforestación en Costa Rica entre 1940 y 1983. Powell, Rappole y Sader (1989) y Mulders, Bruin y Schuiling (1992) emplearon imágenes TM para mapear el uso y cobertura del suelo en la zona atlántica. A pesar de estas experiencias, las fotografías aéreas continúan siendo el producto de uso más frecuente en la elaboración de cartografía temática y en estudios de monitoreo de la cobertura vegetal (Baker et al., 1979). Una limitante del uso de fotos aéreas es que carecen de la periodicidad y cobertura espacial deseada.

En el presente trabajo se describe el procedimiento utilizado para actualizar el mapa preliminar de uso y cobertura de la tierra de Costa Rica, elaborado por el IGN en 1985. Se reportan los cambios en uso y cobertura de la tierra para Costa Rica entre 1984 y 1992; así como el proceso empleado para validar la clasificación.

## **2. AREA DE ESTUDIO**

El estudio se llevó a cabo a nivel nacional, excluyendo la isla del Coco. En total se analizó un área de 51.048 km<sup>2</sup>.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Imágenes utilizadas y sus características**

En el presente estudio se utilizaron imágenes del Mapeador Temático de LANDSAT para los años 1991 y 1993. Aun cuando fue deseable obtener imágenes de un mismo año, no fue posible dada la alta cobertura de nubes de Costa Rica. El satélite LANDSAT 5 o «mapeador temático», fue lanzado el 1° de marzo de 1984 desde Cabo Cañaveral, Florida, Estados Unidos. El sensor a bordo del satélite registra las señales reflejadas y emitidas por la superficie terrestre usando 7 bandas espectrales; cuatro en el espectro visible y tres en el infrarrojo (cuadro 1). Su alta resolución radiométrica lo hace especialmente útil para estudios de ocupación y uso del suelo (Coleman, Gudapati y Derrington, 1990; Harris y Ventura, 1995; Kass, Kempka y Lackey, 1994; Rasch, 1994; Sader, Stone y Joyce, 1990). El satélite está posicionado a 705 km sobre la Tierra y la cubre en 233 órbitas. Las imágenes para un mismo sitio pueden obtenerse a intervalos de 18 días. Cada imagen TM abarca un área de 43.225 km<sup>2</sup> (185\*170 km); su costo en formato digital es de US\$4.300 y el costo por km<sup>2</sup> es de \$0,14. El sensor tiene una resolución espacial de 30\*30 metros en las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 y 120\*120 metros en la banda 6. Esta unidad mínima de resolución nos brinda una idea aproximada del tamaño de los objetos que pueden resolverse (Lillesand y Kiefer, 1994).

#### **3.2 Análisis de las imágenes**

El análisis digital de las imágenes fue realizado utilizando el programa ERDAS. Los pasos seguidos fueron:

##### **1. Preprocesamiento de las imágenes**

En este primer paso se analizó el material digital, con el fin de detectar y corregir defectos tales como bandeo, nubosidad y bruma.

##### **2. Registro de las imágenes**

Las imágenes fueron registradas geométricamente al sistema de proyección Lambert Norte de Costa Rica, utilizando puntos de control comunes tanto en la imagen como en la cartografía a escala 1:50.000 de Costa Rica. El registro de las imágenes es necesario para combinarlas con la cartografía base existente.

##### **3. Clasificación de las imágenes**

El proceso de clasificación se llevó a cabo utilizando las bandas 3, 4, 5 y 7 y un clasificador de máxima verosimilitud. Las clases espectrales resultantes de este

**Cuadro 1: Características espectrales de las bandas del Mapeador Temático de LANDSAT.**

Banda	Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	«Color» (1)	Áreas de aplicación
1	0,45-0,52	Azul	Facilita el estudio de cuerpos de agua, la discriminación entre suelo y vegetación, el mapeo de tipos de bosques y la identificación de elementos hechos por el hombre (ej. ciudades). Esta es una banda de absorción de clorofila.
2	0,52-0,60	Verde	Permite capturar la reflectancia máxima de la vegetación (clorofila) y estudiar el vigor de la vegetación y la identificación de elementos hechos por el hombre (ej. ciudades).
3	0,63-0,69	Rojo	Permite detectar la banda de absorción de la clorofila y, por lo tanto, puede utilizarse en la detección de especies y la identificación de elementos hechos por el hombre (ej. ciudades).
4	0,76-0,90	Infrarrojo cercano	Esta es una banda de reflectancia máxima de la vegetación. Una planta turgente puede reflejar hasta un 40 ó 50% de la energía que recibe. Las diferencias en reflectancia pueden utilizarse para discriminar entre especies y para detectar estrés en la vegetación. También puede emplearse en estudios de humedad del suelo y en la delimitación de cuerpos de agua.
5	1,55-1,75	Infrarrojo medio	Esta es una banda sensible al contenido de humedad tanto del suelo como de la vegetación. También puede utilizarse para detectar cuerpos de agua, ya que prácticamente toda la energía es absorbida.
6	10,4-12,5	Infrarrojo térmico	Banda sensible al calor emitido por los cuerpos en la superficie terrestre. Aplicaciones en áreas geológicas y edafológicas. El tamaño del pixel es de 120 m.

### Continuación de Cuadro 1

Banda	Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	«Color» (1)	Áreas de aplicación
7	2,08-2,35	Infrarrojo medio	Banda sensible a la cantidad de agua presente en la vegetación (contenido de humedad y grosor de la hoja). Aplicaciones en áreas geológicas y edafológicas.

Observe que las bandas 6 y 7 están desfasadas considerando sus respectivas longitudes de onda; esto se debe a que la banda 7 fue adicionada posteriormente al diseño del sensor.

1. El término color indica la ubicación espectral nominal de cada banda.

Fuente: Lillesand y Kiefer, 1994.

análisis fueron etiquetadas empleando la información del mapa de uso/cobertura de la tierra de 1985. Estos mapas, a escala 1:200.000, contenían unas 40 categorías de uso, las cuales fueron reagrupadas en 10 clases (cuadro 2), con el fin de aproximar las categorías deseadas en el mapa final. El mapa generalizado de uso y cobertura fue digitado y rasterizado usando Arc/Info. El producto de este proceso fue un primer mapa que mostraba 10 categorías de uso/cobertura. Una de las 10 categorías estaba formada por polígonos que no fue posible etiquetar utilizando la información disponible de 1984 (ej. áreas con nubes). Para estas áreas se generaron mapas en papel y por medio de la información de campo o fotos aéreas de 1992 fueron etiquetadas. El análisis digital fue realizado usando la resolución original de la imagen (28,5 m\*28,5 m). Sin embargo, dado que el interés era generar un mapa a escala 1:200.000, se procedió posteriormente a remuestrear la imagen clasificada empleando una ventana móvil de 200\*200 metros. Esto nos brinda una unidad mínima mapeable de 4 hectáreas. Finalmente los datos fueron vectorizados y exportados de nuevo a Arc/Info para efectuar los análisis y generar archivos de menor tamaño.

### 3.3 Validación de la clasificación

La exactitud de la clasificación fue evaluada utilizando una matriz de confusión que mostraba en las columnas, la clasificación de campo y en las hileras el resultado de la clasificación digital. La información de campo consistió en puntos seleccionados en forma estratificada usando fotos aéreas de 1992, trabajo de campo empleando un SPG y mapas de uso/cobertura elaborados a escala 1:50.000 por otros colegas en el país.

**Cuadro 2: Clases de uso/cobertura utilizadas en los mapas de 1984 y 1992.**

<i>Clases de 1984</i>	<i>Clases de 1992</i>
Urbano	Urbano
Agricultura	Agricultura
Pasto	Pasto
Charral, bosque secundario	Incluido en bosque o pasto
Bosque	Bosque
Humedales	Humedales
Palmas naturales	Incluidas en humedales
Mangle	Mangle
Suelo expuesto, rocas	Suelo expuesto, rocas
Agua	Agua
	No clasificado, mezclas de uso/cobertura, deforestado

Fuente: IGN (1985) y presente estudio.

#### **4. RESULTADOS Y DISCUSION**

El producto del presente estudio es un nuevo mapa en formato digital de uso/cobertura de la tierra de Costa Rica para el año 1992. El archivo se encuentra en formato Arc/Info y puede obtenerse en el *Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (TeleSig)*, Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe (PRMVS), Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional. Un segundo producto es un mapa a color impreso a escala 1:500.000, el cual también puede adquirirse en el TeleSig. El primer producto tiene como objetivo facilitar el uso e intercambio de información en formato digital, en tanto que el segundo, ofrecer información a la sociedad civil (ej. estudiantes de primaria, secundaria y universidades; turistas, campesinos, etc.).

Los datos de uso y cobertura obtenidos para 1992 se presentan en el cuadro 3. Cuando se analicen dichos datos y, en especial, cuando se comparen con otros trabajos, el lector debe recordar lo siguiente:

1. El objetivo del proyecto era generar un mapa que mostrara la distribución actual de los bosques en Costa Rica y, por lo tanto, no se puso énfasis en discriminar entre tipos de cultivos. Sin embargo, utilizando la base de datos digital esto puede hacerse, ya que los principales cultivos (ej. café, banano, caña, piña, arroz, hortalizas y verduras) están geográficamente restringidos a ciertos sectores del país. El sistema de clasificación usado es equivalente al nivel I del sistema propuesto por Anderson et al. (1976). Lillesand y Kieffer (1994)

**Cuadro 3: Extensión (km<sup>2</sup> y %) de las categorías de uso/cobertura obtenidas para 1992.**

Categoría	Area	
	km <sup>2</sup>	%
Urbano	203	0,4
Agricultura	4456	8,5
Pasto	23.774	46,6
Bosque	16.798	32,9
Sin cobertura vegetal	154	0,3
Humedales	1.149	2,3
Cuerpos de agua	100	0,2
Mangle	376	0,7
Páramo-veg. subalpina	136	0,3
No clasificado/mixto/ deforestado	4.002	7,8

Fuente: elaboración propia.

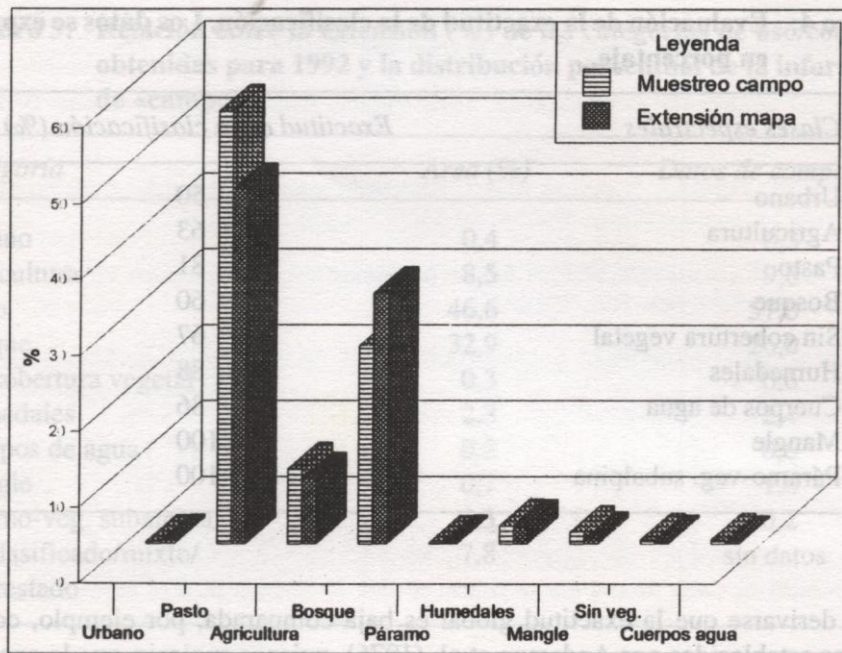
sugieren que con imágenes TM es posible obtener una clasificación equivalente al nivel II de Anderson. Esto no se realizó debido al limitado tiempo del proyecto y a los requerimientos en trabajo de campo para su validación.

2. En el mapa existe un 7,8 del territorio nacional que no fue clasificado. Esta categoría incluye áreas con píxeles mezclados (ej. árboles y pastos, charrales y pastos), deforestados (uso cambió entre 1985 y 1992) o cuyas clases espectrales no correspondían con ninguna de las categorías establecidas (ej. nubes). Aun cuando el valor podría parecer alto, en la mayoría de los casos corresponden a áreas pequeñas dispersas por todo el país. Nuevamente, utilizando la base de datos digital y más trabajo de campo podrían reclasificarse algunos de estos polígonos.

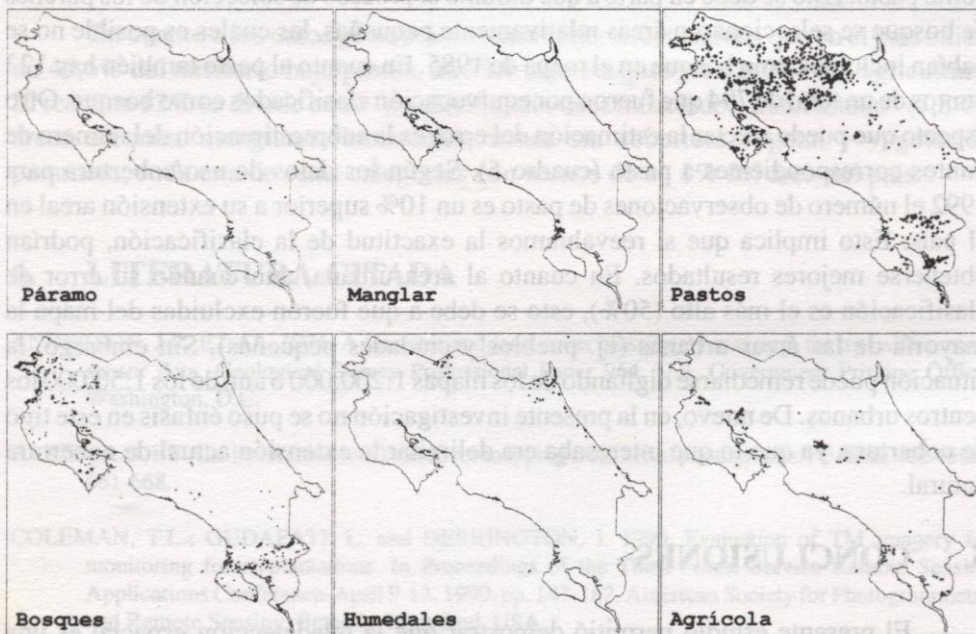
### **Evaluación de la exactitud de la clasificación**

Un aspecto importante en todo trabajo de clasificación de imágenes es determinar su exactitud. En el presente estudio la exactitud global fue de un 74%. El cuadro 4 detalla la exactitud de la clasificación por categoría de uso/cobertura. En el proceso de validación de la clasificación se colectó un total de 1.372 puntos de referencia. La figura 1 ofrece su distribución por clases y la figura 2 su distribución a nivel nacional. La información fue obtenida de fotos aéreas de 1992, trabajo de campo utilizando un SPG y estudios de otros investigadores en el país. La información no digital fue ubicada en mapas a escala 1:200.000 del país y posteriormente digitada. De los datos





**Figura 1. Distribución de muestreo de campo por categoría de uso/cobertura para 1992.**



**Figura 2. Muestreo de campo utilizado para validar la clasificación digital.**

**Cuadro 4: Evaluación de la exactitud de la clasificación. Los datos se expresan en porcentaje.**

<i>Clases espectrales</i>	<i>Exactitud de la clasificación (%)</i>
Urbano	50
Agricultura	63
Pasto	81
Bosque	60
Sin cobertura vegetal	67
Humedales	88
Cuerpos de agua	86
Mangle	100
Páramo-veg. subalpina	100

puede derivarse que la exactitud global es baja comparada, por ejemplo, con los criterios establecidos por Anderson et al. (1976), quienes sugieren que la exactitud global de la clasificación debe ser al menos de un 85% y que dicha exactitud debe ser similar para todas las categorías usadas. Los datos individuales muestran que un 18% en el error global de la clasificación se debe a la confusión entre bosque y pasto. En el caso del bosque, de los 364 puntos muestreados 129 fueron erróneamente clasificados como pasto. Esto se debe en parte a que durante el proceso de selección de los parches de bosque se seleccionaron áreas relativamente pequeñas, las cuales es posible no se habían incluido como bosque en el mapa de 1985. En cuanto al pasto también hay 123 puntos de un total de 794 que fueron por equivocación clasificados como bosque. Otro aspecto que puede afectar la estimación del error es la sobreestimación del número de puntos correspondientes a pasto (cuadro 5). Según los datos de uso/cobertura para 1992 el número de observaciones de pasto es un 10% superior a su extensión areal en el país. Esto implica que si reevaluamos la exactitud de la clasificación, podrían obtenerse mejores resultados. En cuanto al área urbana, aun cuando su error de clasificación es el más alto (50%), esto se debe a que fueron excluidas del mapa la mayoría de las áreas urbanas (ej. pueblos y ciudades pequeñas). Sin embargo, la situación puede remediarse digitando de los mapas 1:200.000 o aun de los 1:50.000 los centros urbanos. De nuevo, en la presente investigación no se puso énfasis en este tipo de cobertura, ya que lo que interesaba era delimitar la extensión actual de cobertura natural.

## 5. CONCLUSIONES

El presente estudio permitió demostrar que la teledetección espacial es una herramienta útil, tanto para los interesados en la investigación del cambio en el uso y

**Cuadro 5: Relación entre la extensión (%) de las categorías de uso/cobertura obtenidas para 1992 y la distribución porcentual de la información de «campo».**

<i>Categoría</i>	<i>Area (%)</i>	<i>Datos de campo (%)</i>
Urbano	0,4	0,3
Agricultura	8,5	9,8
Pasto	46,6	57,0
Bosque	32,9	26,0
Sin cobertura vegetal	0,3	0,6
Humedales	2,3	2,4
Cuerpos de agua	0,2	0,6
Mangle	0,7	1,6
Páramo-veg. subalpina	0,3	0,2
No clasificado/mixto/ deforestado	7,8	sin datos

cobertura de la tierra como para los que toman decisiones basados en dicha información. Este proyecto creó infraestructura local en el empleo de dicha tecnología y, a la vez, generó dos productos: uno cartográfico y otro digital.

En cuanto a los datos generados de uso/cobertura, tenemos que en el país existe un 46,6% del territorio bajo pastos, un 32,9 bajo bosques y un 8,5% bajo agricultura. El restante 12% se divide entre “no clasificado, usos mezclados, deforestado” (7,8%); áreas urbanas, manglares, humedales, zonas sin cobertura vegetal y vegetación paramera; cada una de estas categorías con menos de un 1% del área del país.

## 6. LITERATURA CITADA

- ANDERSON, J.R. ET AL. 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Geological Survey Professional Paper 964. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- BAKER, R.D. ET AL. 1979. Land use/land cover mapping from aerial photographs. PE&RS, vol. 45(5): 661-668.
- COLEMAN, T.L.; GUDAPATI, L. and DERRINGTON, J. 1990. Evaluation of TM imagery for monitoring forest plantations. In Proceedings of the Third Forest Service Remote Sensing Applications Conference-April 9-13, 1990, pp. 147-162. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, Maryland, USA.
- DAMS, R.V. ET AL. 1987. SAR image analysis for Costa Rican tropical forestry applications. Proc. II Simposio Latinoamericano sobre Sensores Remotos. Bogotá, Colombia. Nov. 1987.

- HARRIS, P.M. and VENTURA, J.V. 1995. The integration of geographic data with remotely sensed imagery to improve classification in an urban area. *PE&RS*, vol. 61(8): 998.
- INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1992. Proyecto Radar Costa Rica-Canadá: 1992-1993. Antecedentes. 2 pp.
- KASS, GREEN; KEMPKA, D. and LACKEY, L. 1994. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. *PE&RS*, vol. 55(3): 331-336.
- LILLESAND, M. and KIEFER, W. 1994. Remote sensing and image interpretation. Third Edition. John Willey & Sons. New York. 750 pp.
- MULDERS, M.A.; DE BRUIN, S. and SCHUILING, B.P. 1992. Structured approach to land cover mapping of the Atlantic zone of Costa Rica using single date TM data. *International Jour. of Remote Sensing* 13: 3017-3033.
- NAZARENKO, D.; STAPLES, G. and ASPDEN, C. 1996. RADARSAT: First images. *PE&RS*, vol. 62(2): 143-146.
- POWELL, G.; RAPPOLE, J. and SADER, S. 1989. Neotropical migrant landbird use of lowland Atlantic habitats in Costa Rica: a test of remote sensing for identification of habitat. In *Manomet Symposium*, pp. 287-298. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press.
- RASCH, H. 1994. Mapping of vegetation, land cover, and land use by satellite-experience and conclusions for future project applications. *PE&RS*, vol. 60: 265-271.
- SADER, S.A. and JOYCE, T.A. 1989. Deforestation rates and trends in Costa Rica, 1940-1983. *Biotrópica* 20: 11-19.
- SADER, S.A.; STONE, T.A. and JOYCE, T.A. 1990. Remote sensing of tropical forests: an overview of research and applications using non-photographic sensors. *PE&RS*, vol. 56: 1343-1351.