

Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones

Fondo Nacional de Financiamiento Forestal

Cooperación Financiera entre Alemania y Costa Rica

Proyecto: Programa Forestal Huetar Norte

Contrato de Aporte Financiero N° 1999 66 268

Estudio de cobertura forestal de Costa Rica 2009-2010.

Marzo 2012

INDICE

INDICE	2
Resumen:	3
1. Antecedentes del estudio.	4
1.1. Origen del Estudio.	4
1.2. Objetivos del Estudio.	5
1.3. Tareas específicas del estudio.	5
2. Metodología.	6
2.1. Aspectos Generales y Area de estudio.	6
2.2. Selección imágenes de satélite.	6
2.3. La Metodología NASA Pathfinder para Bosques Húmedos:	12
Descripción general de la metodología:	12
Descripción específica del proceso de clasificación:	14
3. Resultados.	20
3.1. Resultados generales de Clasificación para Costa Rica.	20
3.2. Comparación de los resultados obtenidos respecto al anterior estudio del año 2005	21
4. Conclusiones.	24
5. Recomendaciones.	25
6. Referencias.	26

Resumen:

El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), por medio de la Cooperación Financiera entre Alemania y Costa Rica, Proyecto: Programa Forestal Huetar Norte Contrato de Aporte Financiero N° 1999 66 268, realiza la adquisición de las imágenes Spot para realizar el estudio de cobertura forestal de Costa Rica.

Estos estudios, elaborados con el financiamiento de FONAFIFO para los años 1990, 1997, 2000 y 2005, se han realizado utilizando imágenes del satélite Landsat, sin embargo este satélite tuvo un desperfecto que impide utilizarlo más en esos estudios.

Por esta razón se decide utilizar imágenes del satélite Spot, en este caso el 2 y el 4. Pero con una adaptación de la metodología PathFinder para estudios de cobertura en bosques tropicales.

Debido a la cobertura de áreas sin imágenes (6.35%), así como las áreas de nubes y sombras (5.47), se obtiene que estas imágenes trabajadas cubren el 88.18% del territorio nacional. Para estas zonas (11.82%) se trabajo con imágenes Aster.

De este estudio se obtuvo un valor de 52.38% de cobertura forestal para la zona de cobertura de imágenes.

Se pretende en un futuro cercano una clasificación más detallada de los usos de cobertura.

1. Antecedentes del estudio.

1.1. Origen del Estudio.

Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), por medio de convenios de cooperación con entes nacionales e internacionales, ha venido desarrollando los estudios de cobertura forestal de Costa Rica para los años 1990, 1997, 2000 y 2005, todos con imágenes del satélite Landsat ETM.

Por medio del apoyo económico de la Cooperación Financiera entre Alemania y Costa Rica, Proyecto: Programa Forestal Huetar Norte Contrato de Aporte Financiero N° 1999 66 268, que buscaba el desarrollo forestal de la Zona Norte del país, se procedió a comprar las imágenes necesarias para la mayoría del país.

Sin embargo por problemas en el funcionamiento del satélite Landsat 7 (Figura 1.), se procedió a utilizar el satélite francés Spot.

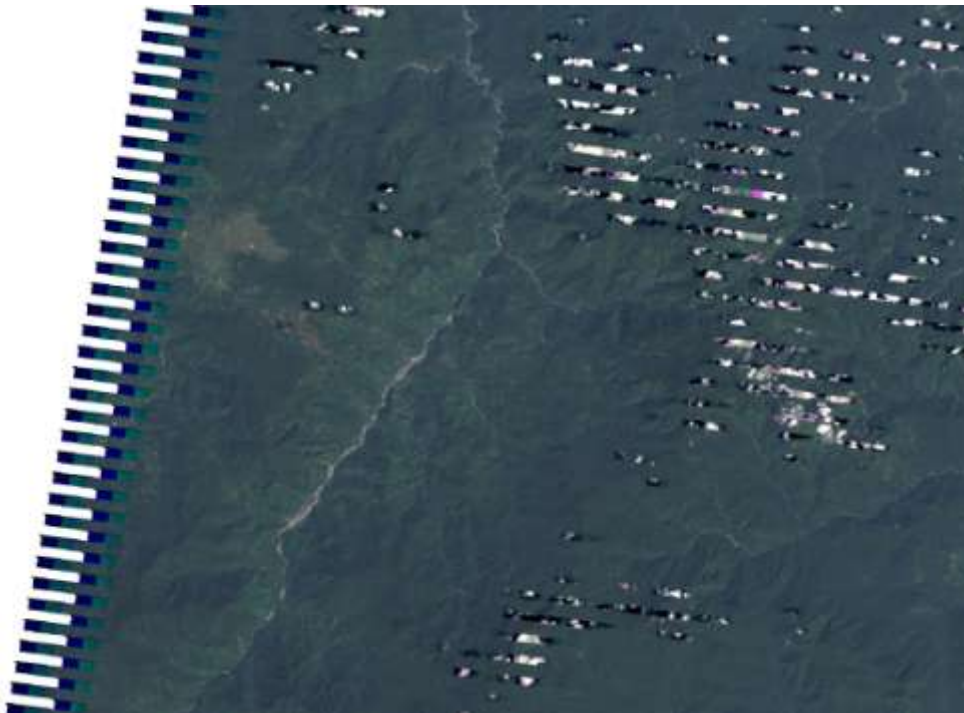


Figura 1. Imagen Landsat.

Este estudio se realizó con personal del FONAFIFO y el apoyo técnico de la Universidad de Alberta, en Edmonton, Canadá. Así mismo se contó con la colaboración de otras instituciones, como el Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Centro Nacional de Alta Tecnología y el Instituto del Café.

1.2. Objetivos del Estudio.

- a) Clasificar las imágenes satélites SPOT, para determinar la cobertura forestal del país.
- b) Desarrollar el conocimiento técnico en el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal en la elaboración de los mapas de cobertura forestal.

1.3. Tareas específicas del estudio.

- A)** Procesamiento de Imágenes de Satélite. Clasificación e interpretación de las imágenes satélites de los años 2009-2010, para Costa Rica de manera general (bosque y no bosque).
- B)** La escala final de Mapeo para los estudios será 1:200,000 con el fin de que sea compatible con los estudios realizados anteriormente y a los convenios internacionales. Esta escala permite una unidad mínima de mapeo de 3.0 ha, que es bastante precisa para los propósitos de FONAFIFO.

2. Metodología.

2.1. Aspectos Generales y Área de estudio.

En los estudios anteriores se utilizó la 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 (Brasil, el Sureste Asiático y África Central). Este enfoque asegura que los resultados de este estudio son producto de una metodología internacionalmente aceptada para el monitoreo de la deforestación de bosques tropicales.

Sin embargo como se explico anteriormente, en todos los estudios realizados se utilizaron imágenes Landsat, pero por problemas de funcionamiento se definió utilizar en este imágenes SPOT e imágenes Aster y EO1 para zonas donde faltaba información.

2.2. Selección imágenes de satélite.

Se utilizaron las imágenes del satélite francés Spot (propiamente se usaron los satélites Spot 2, Spot 4 y Spot 5) ambos muy similares en sus características.

La problemática de estas imágenes Spot es el área de cobertura de ellas, pues en este caso aunque se usen 25 imágenes, no se cubre totalmente el país, sino se encuentran áreas sin cobertura de imágenes como se observa en la figura 2. Este problema no era tan significativo en las Landsat, pues eran pocas imágenes para cubrir el país (5 en total) y con buen traslape.

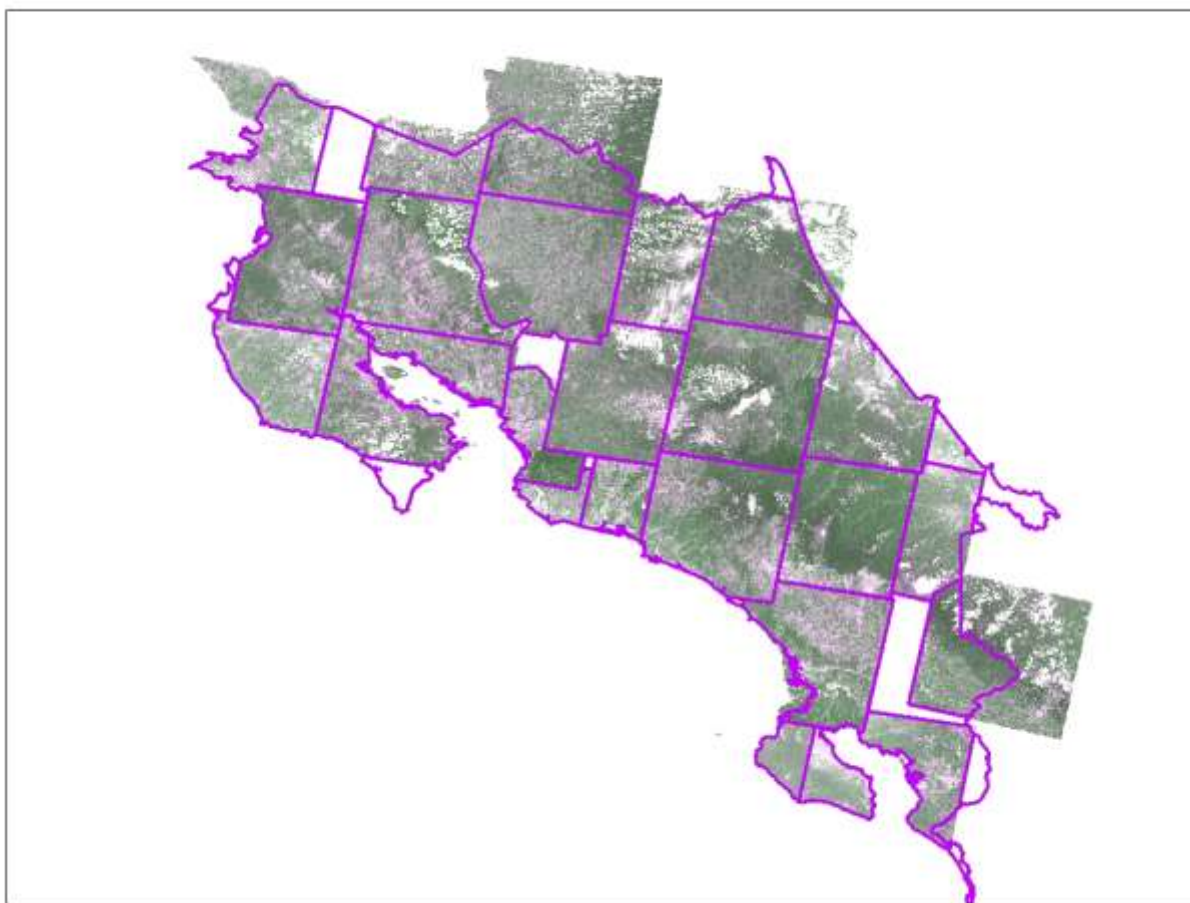


Figura 2. Cobertura de imágenes Spot.

En la figura anterior se observan 11 zonas de no cobertura, además se tiene un área de cobertura de nubes.

Las características generales de las imágenes se dan a continuación.

Cuadro 1. Características principales de los satélites Spot utilizados

Característica	Spot 2	Spot 4	Spot 5
Fecha lanzamiento	22-ene-90	24-mar-98	04-may-02
Bandas espectrales y resolución	1 pancromática a 10 m 3 Multiespectrales a 20 m	1 monoespectral a 10 m 3 multiespectrales a 20 m 1 infrarrojo medio a 20 m	2 pancromaticas a 5 m 3 multiespectrales a 10 m 1 infrarrojo medio a 20 m
Campo de captura de imagen	60 km x 60 a 80 km	60 km x 60 a 80 km	60 km x 60 a 80 km

Fuente: Los satélites Spot en Números. Spot Image

En total se usaron 25 imágenes seleccionadas por medio de la página de catalogo de la empresa SPOT (<http://catalog.spotimage.com/PageSearch.aspx?language=ES>). Como se observa en el cuadro 2. se utilizaron 5 imagenes del satelite Spot 5, 6 imágenes del satélite Spot 4 y 14 del satélite Spot 2, de estas se uso una imagen pancromática (una sola banda) pues era la única en existencia para la zona que cumpliera con las fechas y la cobertura máxima de nubes que se estableció en 20%.

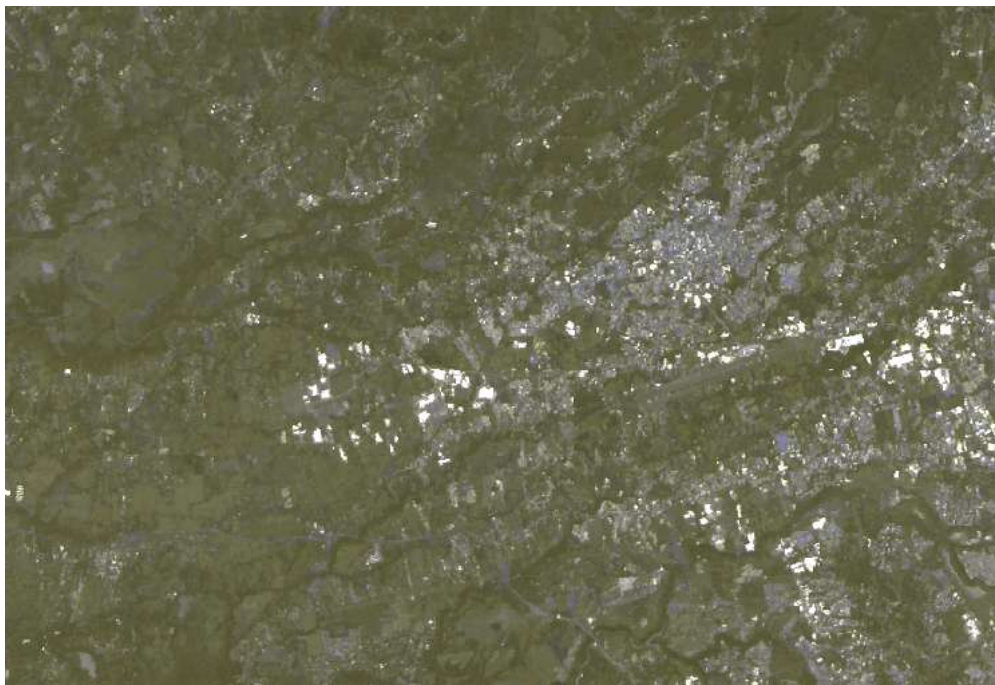


Figura 3. Detalle de imagen Spot 2.
(escala 1:100000, resolución 20 m)

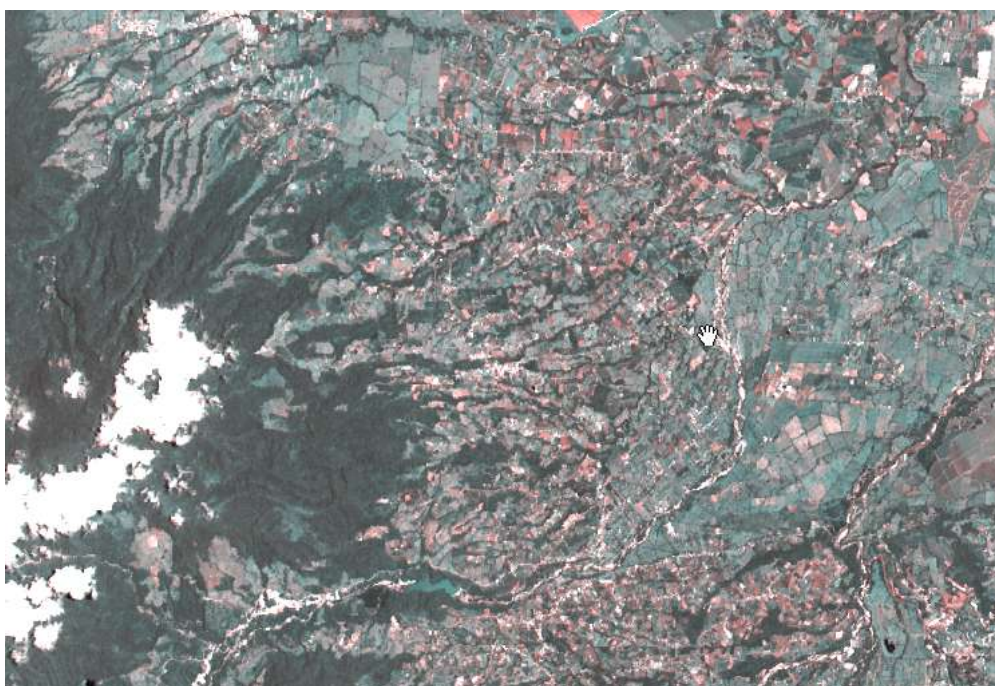


Figura 4. Detalle de imagen Spot 4.
(escala 1:100000, resolución 20 m)



Figura 5. Detalle de imagen Spot 5.

(escala 1:100000, resolución 10 m)

Para el caso de las imágenes Aster (*Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) es un sensor satelital de imágenes ópticas de alta resolución, transportado en el satélite TERRA, lanzado a la órbita el 18 de diciembre de 1999, como un esfuerzo conjunto entre la NASA y el Ministerio de Comercio Economía e Industria de Japón., inicialmente su función era recolectar información geológica mas detalla de la existente, para así estudiar fenómenos que pudieran tener impacto ambiental a nivel mundial, como por ejemplo actividad volcánica.

Estas imágenes en crudo tiene 14 bandas espectrales distribuidas en tres sectores del espectro: la primera VNIR (corresponde al visible e infrarrojo cercano) con 3 bandas, la segunda SWIR (corresponde al infrarrojo medio y onda corta) con 6 bandas y finalmente TIR (correspondiente al infrarrojo termal) con 5 bandas.



Figura 6. Detalle de imagen Aster.

(escala 1:100000, resolución 15 m)

Para nuestro caso la usadas son las VNIR, que tienen una resolución de 15 metros, su resolución temporal es de 16 días, y el ancho de barrido es de 60 km.

Las otras imágenes usadas son las del sensor Ali del satélite EO1, lanzado a orbita el 21 de noviembre del 2000 por la NASA, con 10 bandas, 6 en el espectro visible, 2 en el infrarrojo cercano, 1 en el infrarrojo medio y 1 en infrarrojo onda corta.

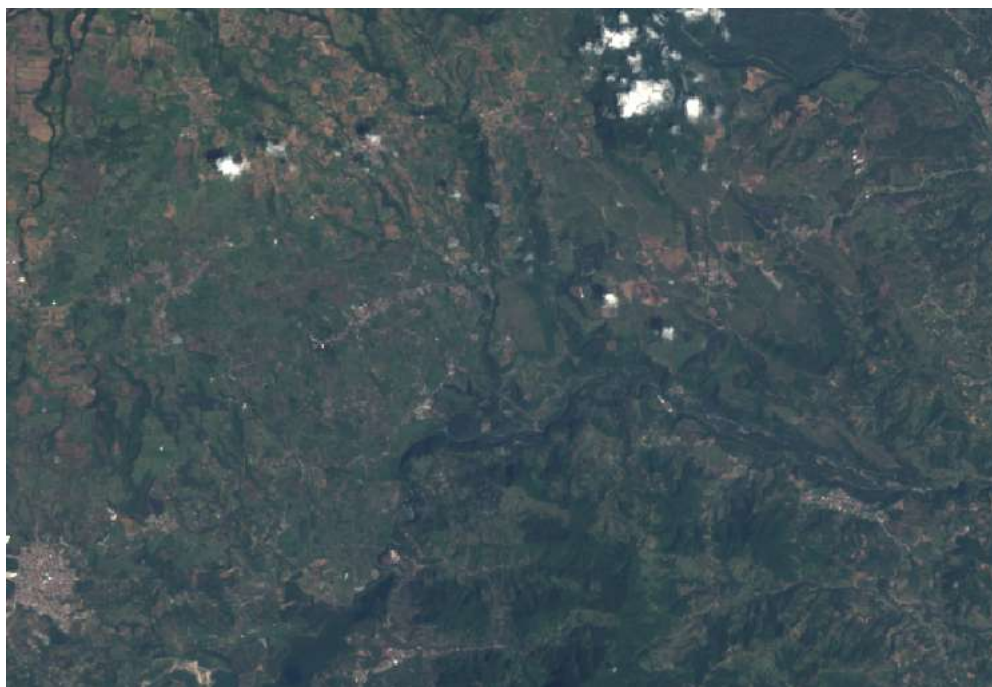


Figura 7. Detalle de imagen EO1 Ali.
(escala 1:100000, resolución 10 m con Pansharping)

Su resolución espacial es de 30 metros, sin embargo se puede por medio de software bajar la resolución a 10 metros, teniendo la banda pancromática respectiva. El ancho de barrido de 36 km y la resolución temporal es de 16 días.

2.3. La Metodología NASA Pathfinder para Bosques Húmedos:

Descripción general de la metodología:

Este método de clasificación fue designado por NASA Pathfinder como clasificación en parejas (Lilliesand, 2000). Se ha usado en los estudios de cobertura forestal de Costa Rica, patrocinados ó copatrocinados por FONAFIFO. Para la clasificación se utilizó el programa Leica Geosystems ERDAS Imagine 8.7.

La metodología utiliza los mapas temáticos resultantes del proceso matemático aplicado a las imágenes para la separación en 50 grupos de

reflectancia espectral similar. Las clases principales extraídas fueron: bosque, no bosque, manglares, nubes, sombras de nubes, aguas continentales y urbanas. Sin embargo en este caso se usaron las clases bosque, no bosque (cuando era posible se clasificó en este los cultivos, principalmente piña, que espectralmente se diferencia), nubes, sombras de nubes y aguas continentales

Cualquier dato de referencia como agricultura o plantaciones forestales o aquellos usados como referencia en este proyecto proveerán clases de cobertura que pueden ser identificados y de esta manera excluidos del análisis. Reduciendo el tamaño de los datos de entrada, por medio de la eliminación porciones de la imagen de satélite donde se encuentran los datos de referencia conocidos, es posible que secciones de los valores del histograma sean omitidos; permitiendo de esta manera que los restantes valores en el histograma sean reacomodados. Este proceso se repite interactivamente durante la clasificación no supervisada. La técnica anterior reduce la confusión y aumenta la capacidad de llevar a cabo una mejor identificación visual de las clases de cobertura vegetal. El proceso de identificación visual es la parte más difícil y lenta del proceso de clasificación supervisada.

Luego de clasificada toda el área, se realizaron procesos para controlar la calidad, esto fundamentando en que no siempre las clasificaciones espectralmente eran comparables, además para depurar el mapa de salida, tomando como referencia información suministrada por el MAG así como por el conocimiento de la zona del personal de FONAFIFO asignado a la región. Adicionalmente fue necesario realizar una comprobación para unas zonas con altas dudas de la información generada en la clasificación no supervisada.

Se aplicó un procesamiento de *unidad mínima de mapeo (umm)* para eliminar el ruido y el efecto de "fragmentación" en el mapa, además de

obtener un producto estéticamente aceptable. Con la aplicación de un *umm*, los datos son analizados mediante un *Filtro de Mayoría 5 x 5* para disminuir el tiempo de procesamiento. El filtrado no compromete la *umm* ya que todas las áreas menores son disueltas e integradas a la clase adyacente de mayor área. Luego, los datos son exportados de formato *raster* a *vector* utilizando ERDAS Imagine 9.0.

Descripción específica del proceso de clasificación:

La metodología NASA Pathfinder para bosques húmedos ha sido ampliamente explicada por Skole y Tucket (1993) 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: Georeferenciación de las imágenes. Todas las imágenes adquiridas en este proyecto fueron georeferenciadas utilizando como base las imágenes utilizadas en el estudio del año 1997. Estas imágenes son consideradas las imágenes "master" para poder comparar los resultados, adicionalmente se utilizaron las imágenes de proyecto de catastro del 2005. (Figura 8.)

Para realizar la georeferenciación de las imágenes, se sobrepone ésta a la capa de caminos, ó en su defecto otra imagen base que tengan áreas comunes y se procede a ubicar puntos de control entre la referencia (caminos ó imagen base) y buscar el correspondiente punto en la imagen a georeferenciar, esta operación se hace en tantos puntos como sea necesario de acuerdo al error que vaya presentando en cada punto. Lo deseable es que el error lineal sea menor ó igual a la resolución de la imagen.

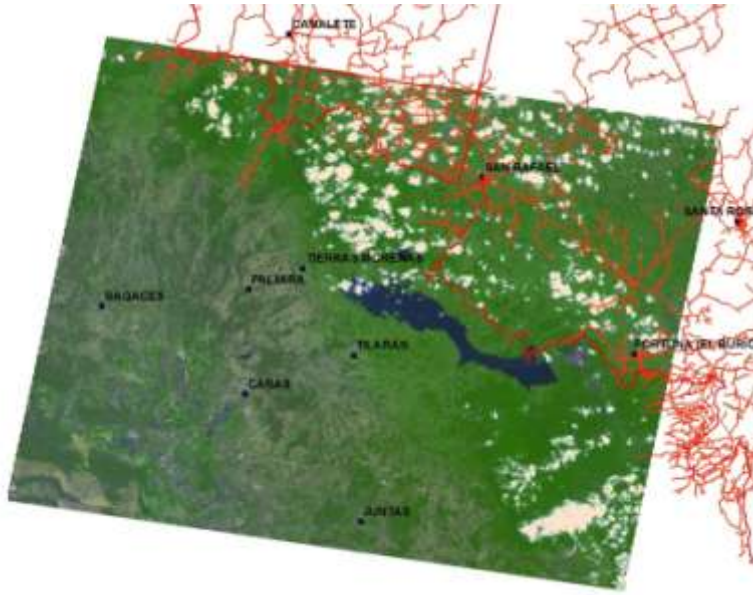


Figura 8. Georeferenciación de imágenes.

Fase No. 2: 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, de 50 clases y 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. (Figura 9.)

La idea principal es eliminar las clases de clasificación que puedan meter error en la clasificación final. Se debe tener en cuenta que no todas las áreas de nubes, sombras y aguas se eliminaran, pero si se debe hacer para la mayoría de estas. Normalmente las zonas de sombras tiene valores de clasificación cerca de 1, mientras las nubes tienen valores altos (50, en este caso)

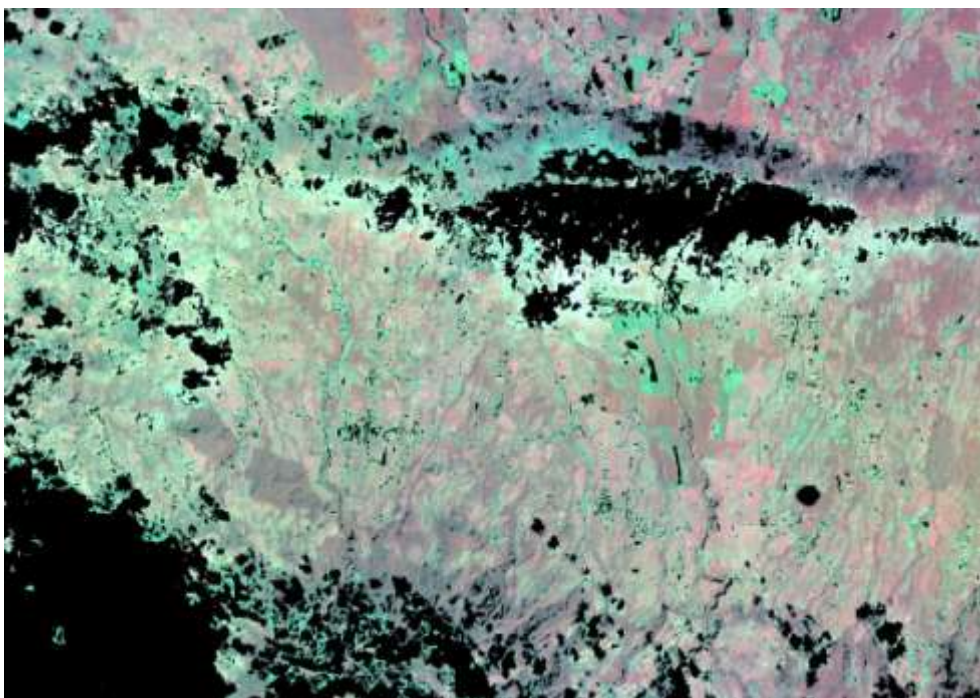


Figura 9. Imagen sin nubes.

Fase No. 3: Interpretación automática. Este proceso involucra la clasificación automática utilizando un sistema sin supervisión conocido como ISODATA. El sistema está basado en la selección de 50 grupos con información espectral similar (dentro de una y media desviación estándar definida). Esto permite separar en forma adecuada aquellos bosques cuya cobertura de copa es superior al 80% (Sanchez-Azofeifa, 1996). (Figura 10)

El software básicamente lo que hace es agrupar el espectro de la imagen en 50 clases con valores espectrales parecidos, dicho de otra manera todo lo del mismo color le pone el mismo valor, pero tomando en cuenta que como son 50 clases el mismo valor puede tener rangos parecidos de colores (por ejemplo, tonalidades de rojo)

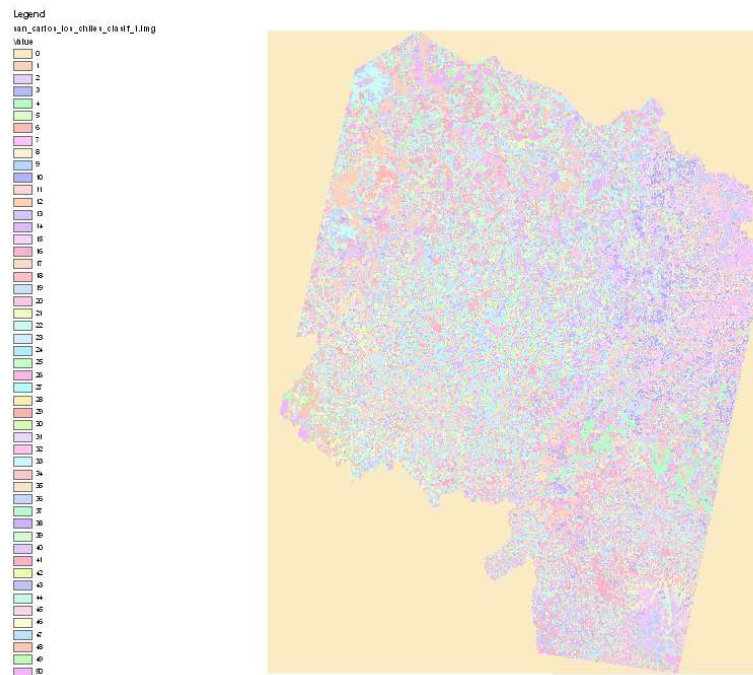


Figura 10. Clasificación no supervisada 50 clases.

Fase No. 4: Clasificación de Cobertura Forestal-No Cobertura Forestal. Cuando se han generado los grupos isoespectrales, se realiza por un proceso interactivo desplegando en forma simultánea la imagen de satélite y la clasificación de la imagen, y se analiza visualmente cada valor de la clasificación a que corresponde en la imagen, puntos de control ó foto aérea. Las clases seleccionadas a este nivel son: Cobertura Forestal (ecosistemas forestales con cobertura de copa superior al 80%) y Cobertura No Forestal (por ejemplo; tierras agrícolas, pastizales, charrales, cafetales con y sin sombra); de ser posible de acuerdo a la claridad de la imagen y la distinción de los valores de la clasificación, se dará una clasificación de cultivos, manglares ó tipos de bosque diferentes entre sí (bosque muy denso, bosque secundario, plantaciones, bosques de palmas). Es necesario en

este caso tener un conocimiento del área o poder distinguir en la imagen ó foto el uso que se asignara. (Figura 11)

Se debe aclarar que un mismo uso (por ejemplo: Forestal) puede tener varios valores de la clasificación, en el caso de la figura 11, se tienen valores entre 5 y 15.

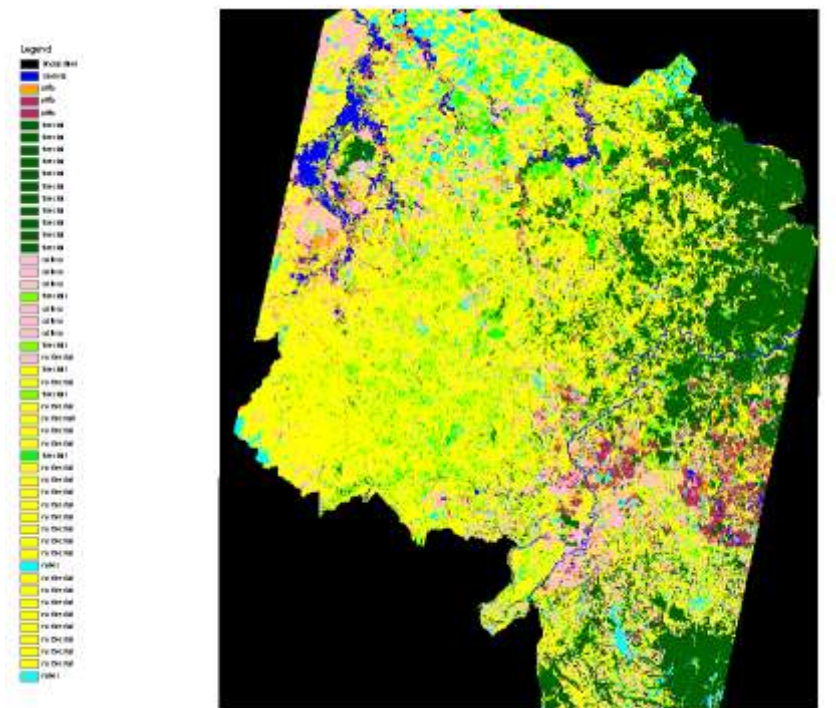


Figura 11. Clasificación bosque no bosque inicial

Fase No. 5: Procesos de Control de calidad. La imagen clasificada es dividida en un cuadrantes, su número variara de acuerdo a la imagen, la cobertura de esta, así como al conocimiento del área de cobertura con el fin de facilitar el seguimiento de las áreas que se están verificando. La misma se súper pone en la pantalla del ordenador en donde se tiene una imagen desplegada con una combinación de bandas espectrales que sea claramente diferenciables, para esto se puede hacer sobre la pantalla con una superficie traslucida, ó bien en una mesa de fotointerpretación donde se pone la impresión en papel y la impresión traslucida (puede ser transparente). para este caso particular se uso la

sobre posición de las imágenes en dos monitores, usando Erdas Imagine, con la función swipe.

Cada cuadrante es chequeado en forma independiente en busca de errores asociados con la clasificación de la misma. Aquellas áreas que se determinan con errores de clasificación son corregidas en la computadora. 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.

Fase No. 6: Integración y análisis. Cuando 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 y se procede con los análisis respectivos.

Esta integración es unir la imagen de la zona con la respectiva mascara hecha en la fase 2. diferenciando las nubes sombras y agua de la máscara. Así mismo se procede a la unión de las diferentes imágenes en un solo mosaico.

Adicional a la metodología usada se procedió a usar imágenes Aster y EO1 Ali, para sacar la información de las zonas donde no había información de imágenes Spot, ó donde había nubes o sombras.

Estas otras imágenes de otros sensores se les aplico un tratamiento parecido pero sacando la información de las áreas de interés únicamente, para no realizar la clasificación de zonas innecesarias.

3. Resultados.

3.1. Resultados generales de Clasificación para Costa Rica.

Con la clasificación de las imágenes se elaboro el mapa de cobertura forestal de Costa Rica, en este mapa se observa que muchas de áreas con cobertura forestal se encuentran distribuidas en las zonas montañosas del país. Esto se puede explicar porque el resto de áreas es donde más se dan las zonas productivas agropecuaria, principalmente café, piña, ganadería y otros cultivos.

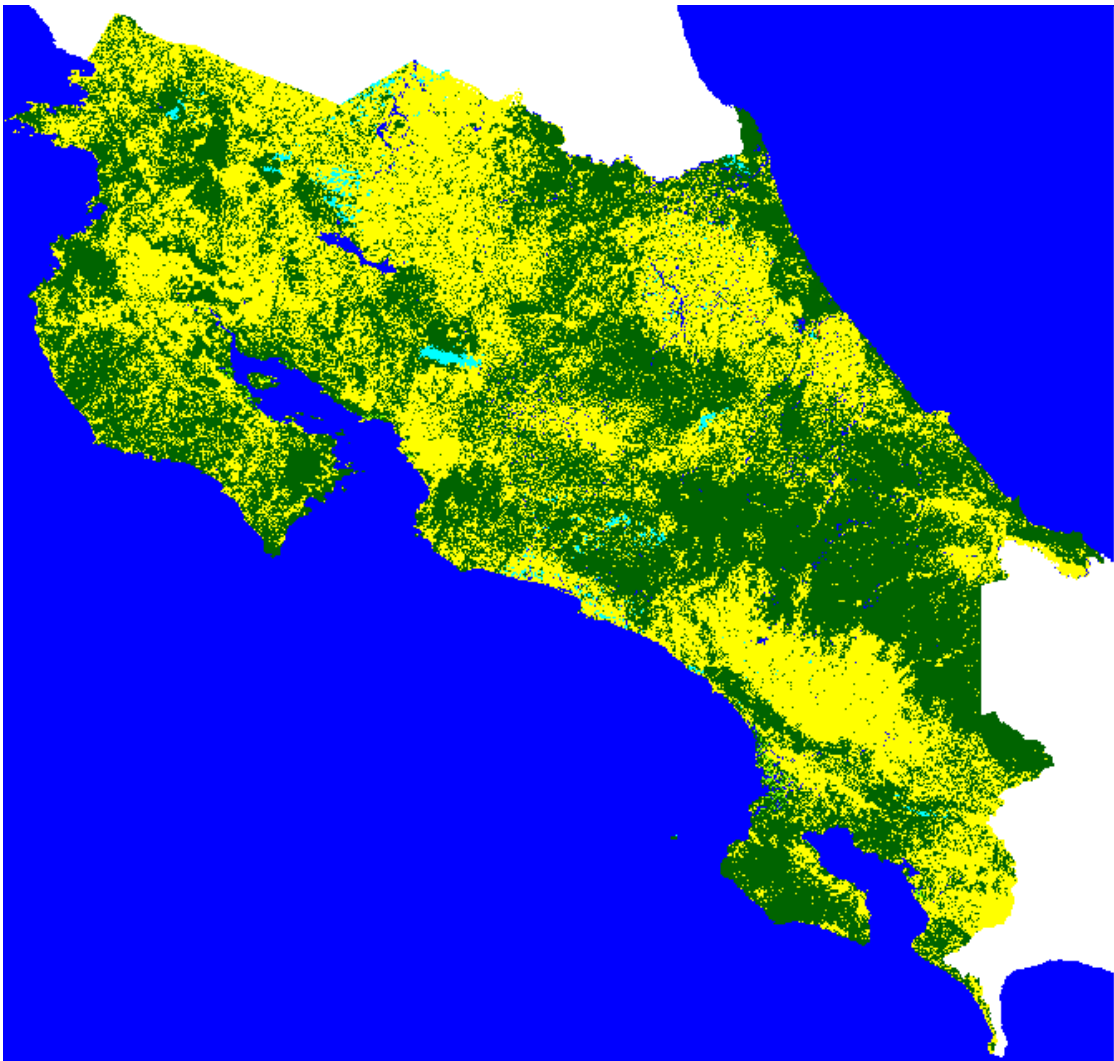


Figura 12. Mapa de Cobertura Forestal Costa Rica 2010.

Se puede apreciar comprando con la figura 13 que la recuperación de las áreas no sigue ningún patrón, sino que puede responder en parte al abandono de actividades agrícolas y ganaderas.

3.2. Comparación de los resultados obtenidos respecto al anterior estudio del año 2005

Tomando en cuenta el mapa elaborado (Figura 12) y el mapa del año 2005 (Figura 13), y tomando en cuenta que las diferencias de sensor impiden realizar una comparación geográfica fiel entre ambos mapas, debido a las diferencias de resolución principalmente así como a las diferencias radiométricas.

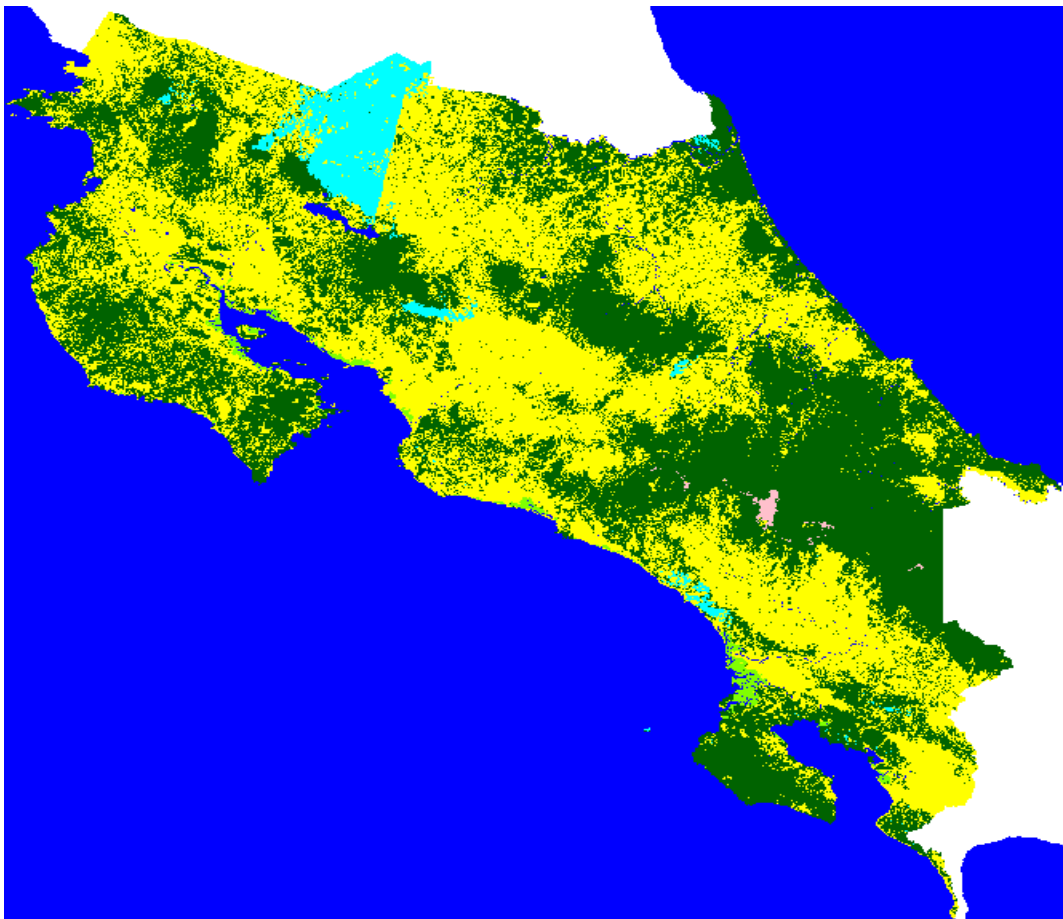


Figura 13. Mapa de Cobertura Forestal Costa Rica 2005.

Al hacer la comparación de la información de salida se tiene que si bien se aumento en 0.94 % la cobertura forestal, no se puede decir que es un aumento neto, pues puede ser debido a que se tiene una mayor resolución (en lugar de ver 30x30 metros, ahora se ve a 20x20 metros).

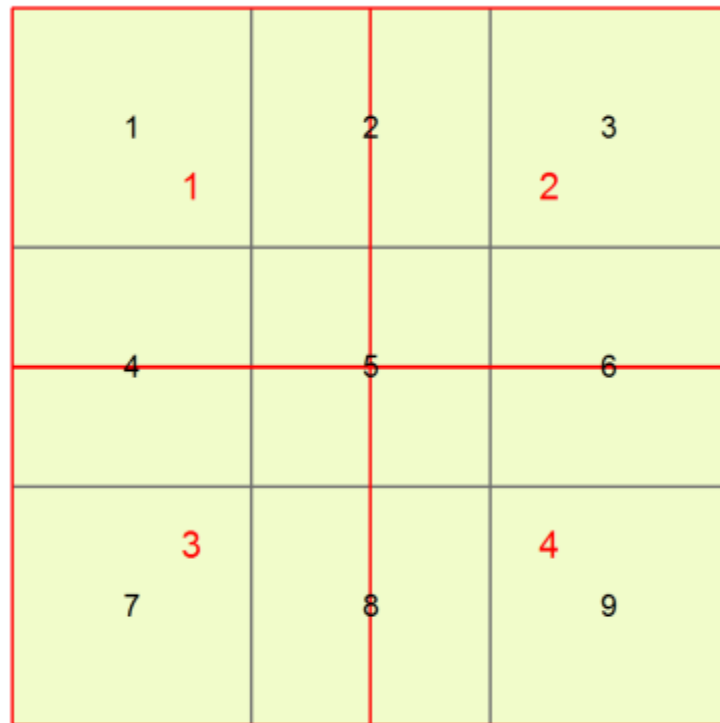


Figura 14. Comparación de las diferentes resoluciones de imágenes

En la figura 14, se aprecia el efecto de las resoluciones diferentes a la hora de establecer las coberturas por pixeles. Se observa que cuatro pixeles de 30x30 cubren la misma área de 9 de 20x20, al tener un pixel de 20x20 la información ahí contenida es la que me da un sector del 30x30 y como no veo sectores de pixeles sino el valor único de este, al tener un pixel de 30x30 la información ahí definida no es tan clara como en uno de 20x20.

Cuadro 3. Cobertura Forestal por provincia, Costa Rica 2005.

Porcentaje de Cobertura del Suelo por Provincia				
Provincia	No Forestal	Forestal	Nubes	Total
ALAJUELA	10.3%	5.7%	3.3%	19.2%
CARTAGO	2.0%	4.0%	0.0%	6.1%
GUANACASTE	9.7%	10.2%	0.0%	19.9%
HEREDIA	2.1%	3.1%	0.0%	5.2%
LIMON	5.3%	12.6%	0.0%	17.9%
PUNTARENAS	10.1%	11.5%	0.2%	21.8%
SAN JOSE	5.4%	4.3%	0.0%	9.8%
Total	44.9%	51.4%	3.6%	100.0%

Cuadro 4. Cobertura Forestal por provincia, Costa Rica 2010.

Porcentaje de Cobertura del Suelo por Provincia				
Provincia	No Forestal	Forestal	Nubes	Total
ALAJUELA	11.9%	6.9%	0.4%	19.2%
CARTAGO	1.5%	4.5%	0.0%	6.1%
GUANACASTE	10.0%	9.9%	0.0%	20.0%
HEREDIA	2.3%	3.0%	0.0%	5.2%
LIMON	6.4%	11.4%	0.1%	17.9%
PUNTARENAS	10.4%	11.2%	0.1%	21.8%
SAN JOSE	4.3%	5.4%	0.1%	9.8%
Total	46.8%	52.3%	0.7%	100.0%

Se estima que si bien la cobertura se ha conservado, existen áreas donde se debe seguir el monitoreo, pues las áreas de recuperación son las más sensibles a entrar o salir de este tipo de cobertura.

4. Conclusiones.

- a. Este estudio se basó en la clasificación de las imágenes SPOT de los años 2009 y 2010. Utilizadas por daño en los sensores del satélite Landsat 7 TM+. Estas imágenes Spot son de mejor resolución lo que será una fortaleza a largo plazo.
- b. La metodología empleada en este estudio cumple con los procedimientos aceptados internacionalmente para el monitoreo de la deforestación tropical.
- c. De acuerdo a los resultados la cobertura forestal del país se ha conservado respecto al estudio del 2005. Esto no necesariamente indica que los bosques están desplazando actividades productivas.
- d. Se logró cumplir con los objetivos, pues la clasificación se hizo casi completamente con personal de FONAFIFO, por lo que se espera cierta independencia por parte de la Institución en la elaboración de este tipo de estudios en el futuro.
- e. Al utilizar otros tipos de sensores se amplía el conocimiento en el manejo de otras imágenes, lo que implica una fortaleza pues no dependeremos solo de las imágenes Spot.

5. Recomendaciones.

- a. Es necesario lograr una mayor clasificación de los mapas para que el producto obtenido sea utilizable por las instituciones del país.
- b. Se debe establecer una metodología conjunta con otras entidades para que los costos de los mapas sean compartidos hasta donde se pueda.
- c. Se debe tener presente que la cobertura forestal del país, no se puede esperar de aquí en adelante que aumente en grandes áreas, pues esta zona es de suma importancia en la producción agropecuaria del país.
- d. Es necesario un mayor trabajo en la obtención de puntos de control, con la finalidad de obtener mayor información para clasificar y auditar los estudios posteriores.
- e. Los próximos estudio de cobertura se deberían programar por lo menos con año de anticipación, para poder programar las tomas de imágenes necesarias, evitando así la cobertura de nubes ó de áreas de no cobertura.
- f. Se debe investigar el uso de otros satélites para apoyarse en la elaboración de mapas siguientes, tomando en cuenta las resoluciones espaciales de estos, así como la posible disponibilidad de imágenes para el futuro.

6. Referencias.

- Lilliesand, T & Kiefer, R. 2000. "Remote Sensing and Image Interpretation" 4th Ed. Wiley, NY. 724pp.
- Pfaff, A.S.P., S. Kerr, R.F. Hughes, S. Liu, G.A. Sanchez-Azofeifa, D. Schimel, J. Tosi and V. Watson (2000). "The Kyoto Protocol & Payments for Tropical Forest: An Interdisciplinary Method for Estimating Carbon-Offset Supply and Increasing the Feasibility of a Carbon Market under the CDM". *Ecological Economics* 35(2):203-221.
- Sanchez-Azofeifa, G.A., Skole, L.S. and Chomentowski, W. 1998. Sampling Global Deforestation Data Bases: The role of persistence. *Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change*. 2 (2-3), pp. 177-189.
- Sanchez-Azofeifa, G.A., Harris, R.C. and D.L. Skole. 2001. Deforestation in Costa Rica: A quantitative analysis using remote sensing imagery. *Biotropica* 33(3): 378-384.
- Skole, D., Tucker, C., 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. *Science* 260, 1905-1910.
- U. Alberta-CCT. 2002. Estudio de cambios de Cobertura Forestal de Costa Rica 1997-2000. Alberta University, Edmonton, Centro Científico Tropical y FONAFIFO. San José, Costa Rica. 30 pp.
- U. Alberta-ITCR. 2006. Estudio de monitoreo de Cobertura Forestal de Costa Rica 2005. Alberta University, Edmonton, Escuela de Ingeniería Forestal Instituto Tecnológico de Costa Rica y FONAFIFO. San José, Costa Rica. 37 pp.