

Informe Técnico Final

Estudio de Deforestación en los Yungas a través de imágenes de satélite



Presentado a:



Santa Cruz, Agosto de 2007

Datos generales del Proyecto:

Título del Proyecto: Estudio de Deforestación en los Yungas a través de imágenes de satélite

Contrato de sub donativo entre

Conservation International Foundation y Fundación Amigos del Museo Noel Kempff Mercado

PRO_06_USAID_EG_07_010_FAMNKM

Responsables:

Conservation International:

Aspectos Técnicos: Robin A. Mitchell (r.mitchell@conservation.org)

Aspectos Administrativos: Carmen Delgadillo (c.delgadillo@conservation.org)

Fundación Amigos del Museo Noel Kempff:

Aspectos Técnicos: Lisete Correa (licorrea@museonoelkempff.org)

Aspectos Administrativos: René Rodríguez (rrodriguez@museonoelkempff.org)

Fecha de inicio: 26 de Marzo de 2007

Duración: 3 meses

Antecedentes

El presente trabajo se enmarca en la línea de monitoreo de Recursos Naturales para la Conservación, sobre lo cual el Dpto. de Geografía e Informática del Museo H. N. Noel Kempff M. ha venido desarrollando estudios de cobertura del suelo, cambios de uso del suelo y deforestación, que es la principal amenaza para la conservación de especies y hábitats.

El estudio está basado en procesar y analizar información de productos de teledetección (imágenes satelitales), del año 2005, mediante la determinación de la deforestación y vegetación secundaria en la región de los Yungas.

La finalidad de este trabajo es tener un conocimiento real del estado de conservación de la Cobertura Vegetal en el área de los Yungas como línea base para monitorearlo, ya que este indicador resulta prioritario y, con el uso de tecnologías como Teledetección y SIG, es el más factible de ser analizado en un tiempo y costos relativamente modestos.

Justificación

El cambio de uso de la tierra es la más importante amenaza para la biodiversidad y la tasa anual de deforestación es la medida mas objetiva del éxito de programas diseñados para la conservación de la biodiversidad, especialmente en áreas protegidas y reservas indígenas. El proyecto de infraestructura Carretera al Norte, Caranavi – Riberalta – Cobija, Norte Bolivia que será implementado por la Iniciativa de Infraestructura Regional Sudamericana - IIRSA, y que cruza el área de los Yungas, será futuro punto importante de deforestación y está acelerando esa amenaza.

Con la realización de este estudio, ejecutado por el Dpto. de Geografía e Informática del Museo de Historia Natural Noel Kempff con financiamiento de Conservation International (CI) se emprende un proceso de análisis del Estado de Conservación de las coberturas naturales del área de Los Yungas.

La adecuada implementación del proyecto producirá información digital que podrá ser utilizada como *línea base* para el monitoreo del cambio de uso del suelo en los Yungas, proporcionando datos sobre deforestación (áreas de cultivo) y vegetación secundaria en el año 2005, analizando el estado de conservación del área.

Objetivo General del Proyecto

Identificar áreas de deforestación (áreas de cultivo) y vegetación secundaria (barbecho) en el periodo 2005, en el área de Los Yungas.

Metodología de trabajo

El equipo técnico del Dpto. de Geografía e Informática ha consolidado una metodología de trabajo, sobre análisis de Cobertura y Cambios de Uso del Suelo, que ha venido aplicando en una gran variedad de áreas de trabajo en Bolivia y Perú, y que es la que se ha seguido para el presente estudio. Para el tratamiento digital de las imágenes de satélite se trabajó con el software ERDAS Imagine, los procesos que se realizaron son los que se describen a continuación.

En primer lugar se realizó la *selección de las imágenes* a ser utilizadas en el estudio, en este caso 10 escenas Landsat 5 (Fig.1), para determinar la cobertura actual del suelo, listadas abajo con sus respectivas fechas.

No.	Path/Row	Fecha	No.	Path/Row	Fecha
1	001/69	03/08/2005	6	231/72	10/05/2005
2	001/70	19/08/2005	7	231/73	26/05/2005
3	001/71	03/08/2005	8	232/71	01/05/2005
4	002/69	07/06/2005	9	232/72	21/08/2005
5	002/70	07/06/2005	10	233/71	12/08/2005

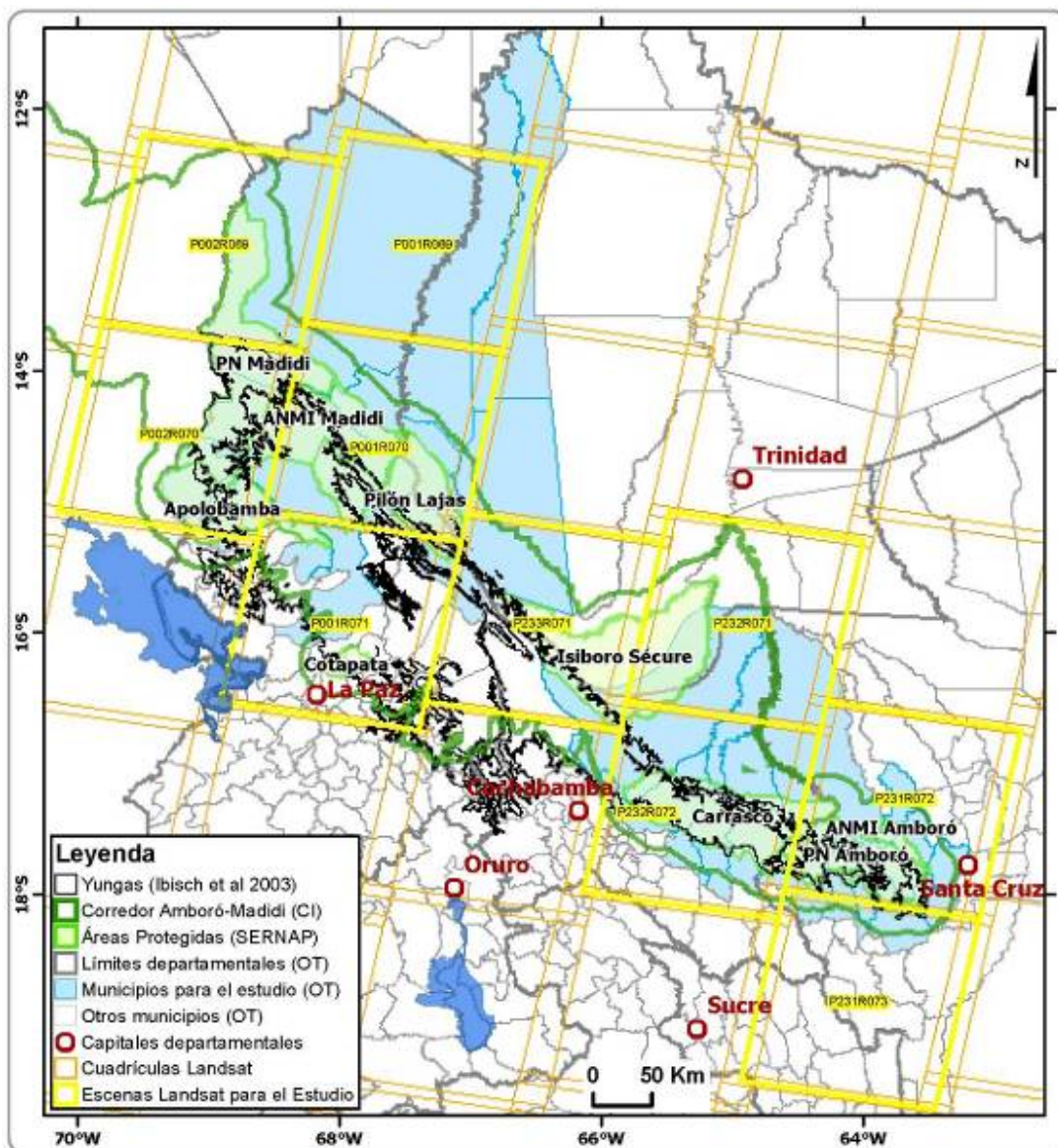


Figura 1: Área de estudio y escenas Landsat

Para seguir, se procedió con la *corrección geométrica*; las imágenes fueron georeferenciadas utilizando imágenes orthorectificadas de las mismas escenas como fuente para puntos de control.

El *análisis digital (clasificación de las imágenes)*, para generar el mapa de deforestación y vegetación secundaria en los Yungas, fue realizado con la metodología de clasificación no supervisada que utiliza el algoritmo Isodata; los datos fueron agrupados en 125 clases, y posteriormente asignados a las clases identificadas, haciendo un análisis espacial y espectral, en las clases de cobertura del suelo que fueron identificadas en el análisis visual de la imagen original, que son:

Tipos de Cobertura de Suelo

1. Sombra
2. Nieve
3. Bosque
4. Agua
5. No Bosque Natural
6. Nubes
7. Barbecho
8. Deforestación
9. Bofedales
10. No Bosque Natural Antropogénico
11. Sabanas Antropogénicas
12. Sabana
13. Cicatriz de Incendio
14. Bosque inundable

Secuencia metodológica para el procesamiento y análisis de imágenes satelitales

Las imágenes de satélite permiten la observación periódica de los fenómenos sobre la superficie de la corteza terrestre. Todos los elementos de la corteza terrestre (como las rocas, suelos, vegetación, agua, así como los objetos que la recubren), absorben, reflejan o emiten una cantidad de energía que depende de la longitud de onda, de la intensidad y tipo de radiación incidente, así como también de las características de absorción de los objetos y de la orientación de estos respecto al sol o la fuente de iluminación (Chuvieco, 2002).

Los sensores del programa espacial Landsat registran lo reflejado o emitido por estos elementos, es decir, captan la energía electromagnética procedente de la cubierta terrestre ya sea reflejada de los rayos solares o emitida debido a su propia temperatura y estos valores son almacenados en las imágenes satelitales (Chuvieco, 2002); las cuales son la herramienta principal para el análisis de cambio en la cobertura del suelo en el presente trabajo (Fig. 2).

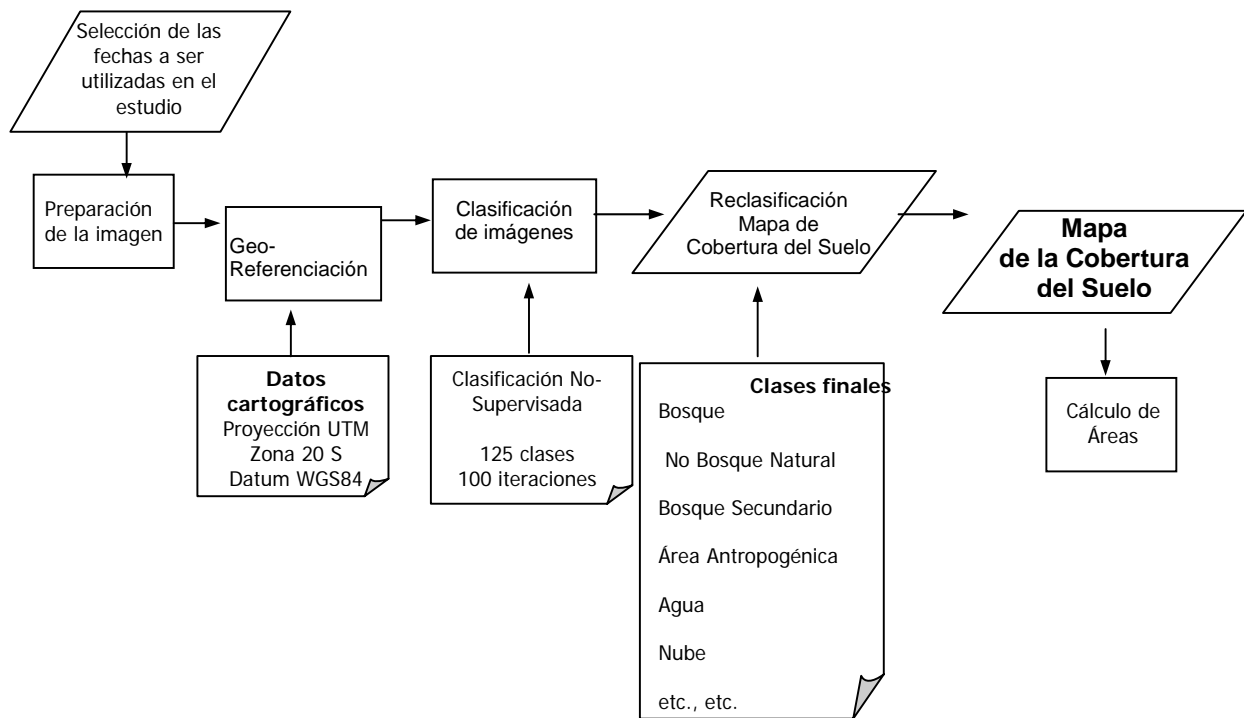


Fig. 2. Metodología para el procesamiento y análisis de imágenes satelitales

1. Preparación de la imagen

a) Importación de las imágenes

La mayoría de los distribuidores de los diversos sensores proveen las imágenes en formato Generic Binary, el cual puede ser importado a los distintos programas para análisis de imágenes. La importación de una imagen, consiste en la transformación de los datos binarios que se encuentran en un formato (A) a un formato (B). Las imágenes que se utilizaron para este análisis, se encontraban en formato Generic Binary, de modo que se procedió a la importación al formato de ERDAS IMAGINE para su posterior tratamiento y análisis, utilizando el módulo IMPORT.

b) Unión de bandas

Una imagen de satélite en formato digital está conformada por varias bandas espectrales, las cuales presentan características especiales. La unión de estas bandas en una sola imagen permitirá juntar las características de cada una de ellas, facilitando de este modo la interpretación de los componentes del paisaje. El programa ERDAS IMAGINE permite este procedimiento mediante el módulo INTERPRETER y la opción UTILITIES/LAYER STACK.

Cuadro 1. Características de bandas espectrales y aplicación potencial

Banda Espectral	Longitud de Onda	Descripción de las Bandas en el sensor LANDSAT TM
1	0.45 – 0.52 (Azul)	Máxima penetración en el agua, útil en la elaboración de mapas de batimetría, para distinguir suelos de vegetación y vegetación decidua de coníferas. No recomendable su uso aislado debido a su bajo contraste y a la sensibilidad a la nubosidad.
2	0.52 – 0.60 (Verde)	Máxima reflectancia del verde en la vegetación, el cual sirve para evaluar el vigor de la vegetación. No recomendable su uso aislado debido a su bajo contraste y a la sensibilidad a las nubes.
3	0.63 – 0.69 (Rojo)	Banda que absorbe la clorofila la cual es importante para diferenciar los tipos de vegetación. Mejor forma de mostrar vegetación no arbórea en el bosque. Menos efectiva para mostrar áreas quemadas, contrastes entre agua y vegetación decidua de coníferas.
4	0.76 – 0.90 (Infrarrojo Cercano)	Usado para determinar el contenido de biomasa y para el mapeo de líneas costeras. Mejor forma para el contraste de vegetación decidua de coníferas, cuerpos de agua, áreas quemadas. Menos efectivas que la banda TM3 para caminos, o tres tipos de vegetación no arbórea.
5	1.55 – 1.75 (Infrarrojo Medio)	Indica el contenido de humedad del suelo y la vegetación. Esta banda muestra sobretodo caminos, claros, áreas quemadas, agua y presenta un buen contraste en la vegetación decidua de coníferas. Excelente penetración de la nubosidad. Sin embargo, es menos efectiva que la banda 3 para caminos y claros.
6	10.4 – 12.5 (Térmal)	Resolución : 120 m Esta región espectral responde a la radiación térmal (calor) emitida por el terreno. Las imágenes nocturnas son prácticas para mapeos térmicos y para estimaciones de la humedad del suelo.
7	2.08 – 2.35 (Infrarrojo Lejano)	Útil para discriminar los minerales, los tipos de roca y el contenido de humedad de la vegetación. Esta banda está presente en la parte visible del espectro electromagnético pero tiene una mayor habilidad para la penetración de la nubosidad que la banda 5. Es útil en combinación con la banda 4 para resaltar áreas quemadas.

Fuente: Lillesand y Kiefer, 1994.

c) Despliegue de la imagen

Una vez realizada la unión de bandas, se procede al despliegue de la imagen en formato digital, que es la visualización de dicha imagen bajo ciertos parámetros específicos como combinación de bandas, características geográficas. El despliegue preliminar de una imagen permite determinar si la imagen requiere algún tratamiento posterior y facilitar la mejor comprensión y análisis de los componentes del paisaje.

2. Geo-referenciación (Corrección geométrica)

La corrección geométrica consiste en realizar cambios en la posición que ocupan los píxeles de la imagen, es decir, se le asigna a la imagen un sistema de proyección (Chuvienco, 2002). En este caso se realizaron Correcciones no paramétricas (también llamadas correcciones de escena), las cuales tienen en cuenta errores no sistemáticos en la trayectoria de vuelo o la influencia del relieve que se pueden corregir con la ayuda de puntos de control.

Las imágenes necesitan siempre ser corregidas geométricamente a un sistema coordinado para ser útiles y para ciertos usos tales como detección del cambio, cobertura del suelo, elaboración de mosaicos e incluso una imagen o capa simple, la corrección geométrica necesita ser altamente exacta. AutoSync™ es una herramienta del software ERDAS IMAGINE® que toma dos (o más) imágenes de tipos diferentes (diferentes sensores o resoluciones) y, automáticamente, genera miles de puntos de control (Fig. 3) empleando los algoritmos de correlación de Leica Photogrammetry Suite, generando un modelo que permite enlazar las imágenes con alta precisión para mejorar el ajuste de datos ya georeferenciados, o para georeferenciar con sencillez datos en bruto a partir de datos correctamente georeferenciados.

Tanto la imagen de referencia como las imágenes a ser georeferenciadas fueron trabajadas con la **Proyección UTM, zona 19 y 20, Sur, Datum WGS84**, teniendo como unidad de medida al metro.

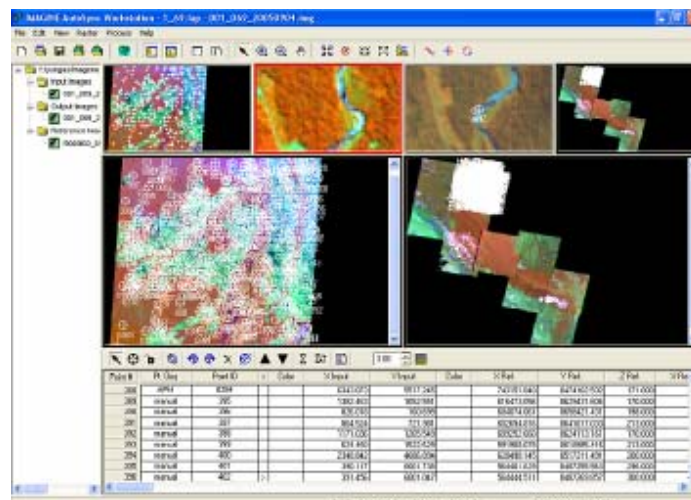


Fig.3. Ventana de diálogo de la herramienta Autosync Workstation, donde se aprecia el proceso automático de los puntos de control para el proceso de georeferenciación.

AutoSync contiene asistentes guiados para el proceso de georeferenciación y ajuste de borde, una herramienta de trabajo que permite un rápido acceso a la revisión de datos. Además soporta transformaciones afines, polinomiales, rubber Sheeting, RPC, Orbital Pushbroom y DLT y para ajustes de borde soporta transformaciones de tipo polinomial y Rubber Shetting. Para las imágenes del proyecto el modelo geométrico utilizado fue el de Projective Transform utilizando un DEM (Digital Elevation Model) de Bolivia como DTM file, ya que la mayoría de ellas presentan áreas montañosas, lo cual dificulta la obtención de una georeferenciación precisa. Cabe resaltar que todos los modelos existentes en mayor o menor grado contienen un cierto grado de error, que es aceptable por tratarse de zonas de montaña. Las imágenes obtenidas a partir de la rectificación tienen un tamaño de píxel de 30 x 30 m.

3. Análisis visual de las imágenes de satélite.

Se basa en las técnicas de foto-interpretación, e involucra la identificación de los objetos en la imagen con el fin de extraer información de útil para los fines esperados (Fig.4).

Fig. 4. Criterios de interpretación visual



Fuente: Chuvieco, 2002.

4. Clasificación digital e Interpretación de las imágenes

Como fruto de la clasificación digital se obtienen los mapas temáticos con las categorías objeto de estudio; en este caso el resultado es el Mapa de Cobertura del Suelo (deforestación y vegetación secundaria).

La Clasificación digital es un proceso que consiste en la agrupación automática de los píxeles de una imagen multi-espectral, generalmente sobre la base de similitudes entre los valores numéricos que las definen (reflectancia), en distintas categorías (leyenda), ya sean predefinidas por el usuario (clasificación supervisada) o por el sistema de clasificación utilizado (clasificación no supervisada); de este proceso resulta un archivo raster temático de una sola banda, con diferentes categorías, cuyos valores representan categorías temáticas conocidas o por definir (Chuvieco,2002).

El Mapa de Cobertura del Suelo (deforestación y vegetación secundaria/barbecho) fue realizado mediante la metodología de clasificación no supervisada que utiliza el algoritmo Isodata del software para procesamiento de imágenes, ERDAS IMAGINE; esto debido a que no se contaba con la información suficiente para poder determinar las diferentes áreas de entrenamiento e identificar los diversos componentes del paisaje. Se utilizó el módulo CLASSIFIER/ UNSUPERVISED CLASSIFICATION, se definió un número de 125 clases en la combinación de bandas 4,5,3 que corresponden a los canales RGB y con un número 100 iteraciones; estos parámetros dieron una clasificación muy similar a la imagen original.

Las 125 clases resultantes fueron agrupadas, haciendo un análisis espacial y espectral, a partir de las cuales se obtuvieron 14 clases de cobertura y uso del suelo que fueron observados en la imagen sin clasificar (Bosque, No Bosque Natural, Bosque Secundario, Área Antropogénica, Agua, Nube Sombra), para esta reclasificación se utilizó el módulo INTERPRETER /GIS ANALYSIS/RECODE; en aquellas zonas donde se tuvo dificultad para separar las diversas clases identificadas en la clasificación no supervisada se utilizó la técnica REGION GROW para agrupar las clases manualmente.

Para cada imagen clasificada se forma de manera automática una "tabla de atributos" en que aparecen los nombres de las clases y el número de píxeles por clase, producto de un proceso automatizado, la *clasificación supervisada*, mas la *clasificación no supervisada*, por medio de la discriminación y/o agrupación de píxeles.

La tabla en que se muestra la cantidad de cada tipo de cobertura del suelo es producto de la exportación de la "tabla de atributos" en que cada clase corresponde a un tipo de cobertura de suelo y la superficie obtenida en hectáreas no es más que la sumatoria de los píxeles por clase de cobertura.

Resultados:

Los resultados obtenidos a partir del Estudio del cambio de uso del suelo en los Yungas pueden apreciarse en el Mosaico de Imágenes Clasificadas (Fig 5 y/o Anexo 1). A continuación se presenta una tabla donde puede verse las diferentes clases de cobertura con su correspondiente área total (ha) y su porcentaje correspondiente al área de estudio. El área deforestada del total es un 5 % y el área de barbecho representa casi el 1, 5 %. Este porcentaje es bajo respecto al área total de estudio.

Estudio de Deforestación en los Yungas a través de imágenes de satélite

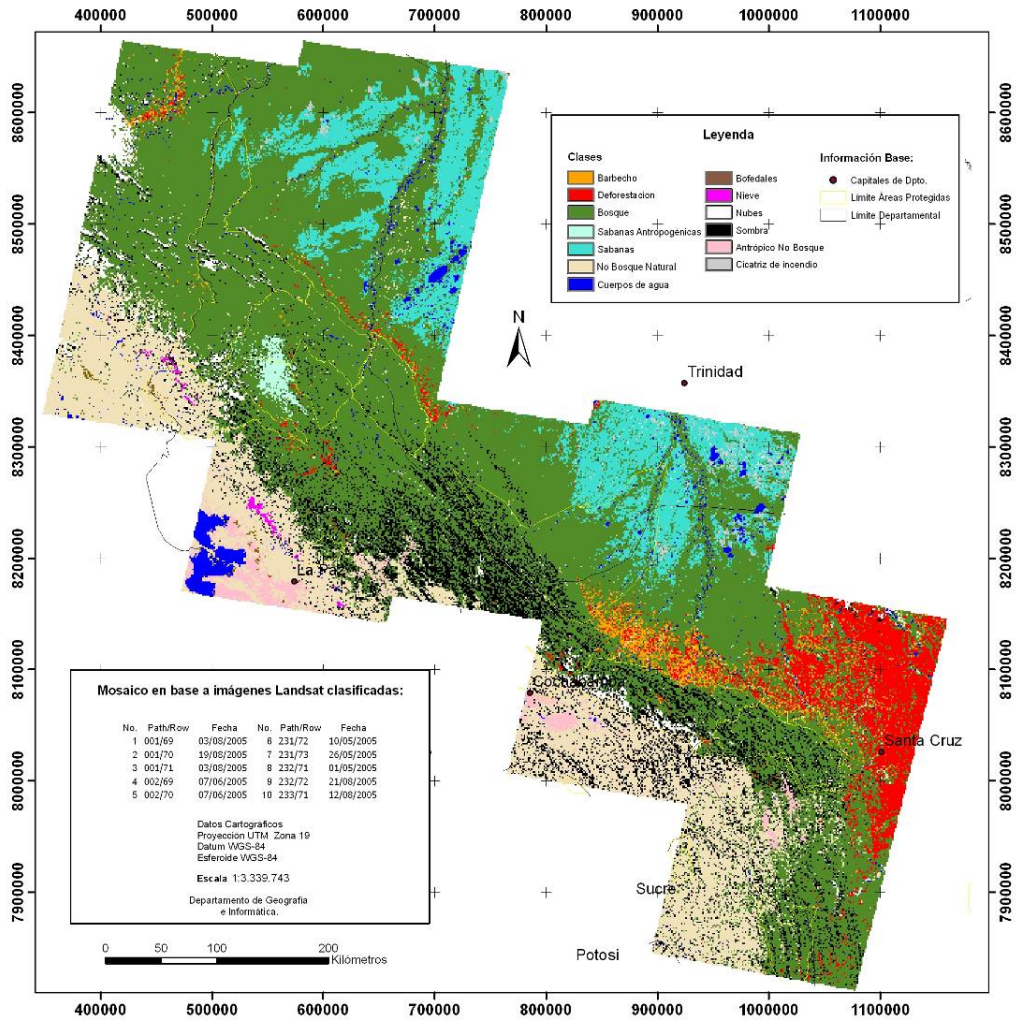


Fig. 5 Mapa de Deforestación y Vegetación Secundaria de los Yungas

Clases	Sup - Has	%
Barbecho	488.853	1,64
Deforestación	1.446.685,20	4,86
Bosque	15.877.041	53,37
No Bosque Natural	4.615.000	15,51
Nieve	40.557	0,14
Cuerpos de agua	519.280	1,74
Cicatriz de incendio	161.440	0,54
Nubes	496.093	1,67
Bofedales	34.456	0,11
Antrópico No Bosque	454.493,70	1,53
Sabanas Antropogénicas	147.111	0,49
Sabanas	3.002.742	10,09
Bosques inundables	4.882	0,016
Sombra	2.460.832	8,27
TOTAL	29.749.468	100

Cuadro 2. Superficie por tipo de cobertura y su respectivo porcentaje para toda el área de estudio (Yungas).

A continuación se realizó un análisis de las Áreas Protegidas que se encuentran dentro del área de estudio, para las cuales se elaboró tablas con las coberturas presentes en cada una, su superficie, y el porcentaje sobre el total que corresponde a cada una, donde vemos que las Áreas Protegidas con mayor porcentaje de áreas deforestadas y de "barbecho" son Carrasco, Isiboro Séure y Amboró.

PILON LAJAS		
Cobertura	Superficie (ha)	%
Barbecho	518	0,13
Deforestacion	1230	0,31
Sombra	11153	2,79
Bosque	379359	94,95
Cuerpos de agua	4301	1,08
No bosque Natural	4621	1,16
Bofedales	13	0,00
Sabanas antropog	36	0,01
Sabanas	5	0,00
Cicatriz de incendio	40	0,02
Humedales	3	0,00
Sup. Total	399531	100,00

IÑAO		
Cobertura	Superficie (ha)	%
Deforestación	3953	1,62
sombra	47220	19,37
Bosque	173924	71,33
Cuerpos de agua	578	0,24
No bosque Natural	22101	9,06
Sup. Total	243823	100,00

MADIDI		
Cobertura	Superficie (ha)	%
Barbecho	3450	0,18
Deforestación	2574	0,14
Sombra	61015	3,25
Nieve	4199	0,22
Bosque	1621389	86,33
Cuerpos de agua	11839	0,63
No bosque Natural	43065	2,29
Nubes	58129	3,09
Sabanas antropog	38589	2,05
Sabanas	38855	2,07
Cicatriz de incendio	1133	0,06
Humedales	4	0,00
Sup. Total	1878216	100,00

ISIBORO SÉCURE		
Cobertura	Superficie (ha)	%
Barbecho	17901	1,40
Deforestación	6208	0,48
Sombra	132844	10,38
Bosque	930249	72,66
Cuerpos de agua	14690	1,15
No bosque Natural	4754	0,37
Nubes	1767	0,14
NBN Antropogénico	8	0,00
Sabanas antropog	295	0,02
Sabanas	191195	14,93
Cicatriz de incendio	4525	0,35
Sup. Total	1280327	100,00

EL PALMAR

Cobertura	Superficie (ha)	%
Deforestación	135	0,27
Sombra	4844	9,65
Bosque	4528	9,02
Cuerpos de agua	98	0,20
No bosque Natural	40729	81,13
Sup. Total	50200	100,00

CARRASCO

Cobertura	Superficie (ha)	%
Barbecho	18814	2,84
Deforestación	13024	1,96
Sombra	192287	29,01
Bosque	353198	53,28
Cuerpos de agua	2898	0,44
No bosque Natural	52136	7,87
Nubes	61051	9,21
NBN Antropogénico	1296	0,20
Sup. Total	662866	100,00

APOLOBAMBA

Cobertura	Superficie (ha)	%
Barbecho	663	0,14
Deforestación	3515	0,74
Sombra	50254	10,51
Nieve	6655	1,39
Bosque	131978	27,60
Cuerpos de agua	4595	0,96
No bosque Natural	242303	50,67
Nubes	34788	7,28
Bofedales	7315	1,53
NBN Antropogénico	234	0,05
Sabanas antropog	39	0,01
Cicatriz de incendio	22	0,00
Humedales	1	0,00
Sup. Total	478185	100,00

COTAPATA		
Cobertura	Superficie (ha)	%
Deforestación	6	0,01
Sombra	17822	29,00
Nieve	138	0,22
Bosque	21740	35,38
Cuerpos de agua	97	0,16
No bosque Natural	20464	33,30
Nubes	279	0,45
Bofedales	43	0,07
NBN Antropogénico	864	1,41
Sup. Total	61445	100,00

AMBORO		
Cobertura	Superficie (ha)	%
Barbecho	10790	1,85
Deforestación	7538	1,29
Sombra	143086	24,50
Bosque	423902	72,60
Cuerpos de agua	1416	0,24
No bosque Natural	12817	2,19
Nubes	2694	0,46
NBN Antropogénico	9	0,00
Sup. Total	583924	100,00