



Informe Técnico Final Producto 3

Análisis del Cambio en la Cobertura del Suelo dentro de las Concesiones Forestales y ASL's para el periodo 2005-2007

Contrato BOERPO52108

Elaborado por



Presentado a:



Santa Cruz, julio de 2008

Datos generales del Proyecto:

Título del Proyecto: Análisis del Cambio en la Cobertura del Suelo dentro de las Concesiones Forestales y para el periodo 2005-200.

Responsables:

The Nature Conservancy: Steffen Reichle (sreichle@tnc.org)

Contrato # BOERPO52108 **Producto 3**

Fundación Amigos del Museo Noel Kempff:

Aspectos Técnicos: Liséte Correa (lcorrea@museonoelkempff.org)

Aspectos Administrativos: Maria Esther Montaña (mmontano@museonoelkempff.org)

Fecha de inicio: 21 de mayo de 2008

Duración: 2 meses

Introducción

Bolivia, con una superficie total de más de un millón de km², cuenta con una cobertura boscosa de aproximadamente 48% de su territorio, la mayoría localizada dentro de la cuenca amazónica, colocando al país en el 13er lugar de los 15 países mega diversos y en el sexto lugar en extensión de bosques tropicales. Esta situación privilegiada en términos de biodiversidad y superficie forestal demanda por su vez un sistema administrativo y legal forestal que posibilite el manejo forestal sostenible.

El sistema de concesiones forestales en Bolivia entró en vigor a partir de la promulgación de la Ley Forestal 1700 en 1996, en reemplazo de los Contratos de Aprovechamiento Forestal. Esta ley estableció los siguientes tipos de derechos forestales: concesiones forestales a empresas madereras, concesiones forestales a Agrupaciones Sociales del Lugar (ASL), Autorizaciones de aprovechamiento en tierras con bosques de propiedad colectiva (TCO), Autorizaciones de aprovechamiento en tierras de propiedad privada, y Contratos de aprovechamiento forestal en tierras fiscales. Existen dos tipos de concesiones forestales: uno para empresas madereras cuyos propietarios convirtieron de manera voluntaria sus contratos de aprovechamiento en concesiones forestales, y otro para las ASL creadas mediante la nueva Ley Forestal. Actualmente existen 69 concesiones forestales a empresas madereras, con una superficie promedio de 67.000 ha, y 24 concesiones para ASL con una superficie promedio de 27.000 ha. El 50% y el 82% de la superficie de las concesiones a empresas y de ASL respectivamente se encuentran en el Departamento de Santa Cruz. Las concesiones forestales a empresas madereras fueron el motor del nuevo régimen forestal, llegando a certificar más de 2 millones de ha bajo el sistema del FSC. Las concesiones permitieron mantener la presencia de las empresas en el bosque, sirviendo así como un freno al proceso

de deforestación. El sistema de concesiones facilitó la administración del bosque, especialmente en lo referente al pago de los derechos forestales, ya que se abandonó el ineficiente sistema de pago de derechos forestales por volumen, dando lugar al pago de una patente forestal por superficie. Asimismo, permitió una mayor seguridad jurídica a las empresas al entregarles derechos por 40 años, renovables de forma indefinida, sujeto a la aprobación de auditorías forestales cada cinco años. En general, la experiencia boliviana sobre concesiones fue positiva, con resultados más exitosos en las concesiones de empresas madereras que en las ASL, permitiendo cambios sustanciales en el aprovechamiento forestal en la perspectiva de reducir impactos al bosque remanente, sin embargo, el sistema de pago requiere de ajustes a efectos de que la patente forestal tenga su impacto a nivel municipal. A efectos de incentivar el manejo de largo plazo, se requiere fortalecer la seguridad jurídica de las concesiones frente a las ocupaciones ilegales y al cambio de uso de la tierra.

Pese a existir normativas, y toda una estructura de control, la misma es vulnerable, existiendo actividades ilegales que son la causa de impactos económicos, sociales y ambientales negativos que están ligados en su mayoría al cambio de uso de suelo y constituyen una considerable amenaza a los bosques.

Se han realizado algunos estudios a nivel nacional que cuantifican la pérdida de la cubierta forestal como el realizado por la superintendencia forestal; sin embargo, por estar realizado con imágenes MODIS (250 m de resolución x pixel) no permiten una estimación adecuada del cambio de uso del suelo, lo cual es posible con la utilización de imágenes de satélite de mejor resolución, como las imágenes Landsat (30 x 30 m de resolución x pixel) que brindan un mayor grado de detalle para este tipo de análisis.

El Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado ha realizado estudios de cambio de uso del suelo en concesiones forestales y ASL´s mediante el uso de imágenes del satélite Landsat para los periodos 1992 - 2000, 2000 – 2005; el presente trabajo viene a ser una actualización para el periodo 2005 – 2007.

Justificación

Para poder realizar una buena regulación del uso del recurso bosque en concesiones forestales, y garantizar su disponibilidad para las futuras generaciones, es necesario contar con información del estado de conservación de este recurso que permita determinar las áreas donde se está realizando un manejo no adecuado y, si corresponde, en algunos casos revertirlas.

La utilización de productos de Teledetección es muy apropiada para realizar un monitoreo por satélite del cambio de uso del suelo, y los resultados generados pueden conllevar a una gestión cada vez más precisa de los recursos forestales en áreas de Concesiones forestales,

actividad que debe ser realizada de forma paralela a las tareas de control y vigilancia realizadas por la Superintendencia Forestal.

La información a generar en el presente estudio pretende contribuir a la actualización del estudio del estado de conservación en Concesiones Forestales otorgadas a empresas privadas y ASL's, y así contar con información confiable referente a desmontes para poder ejercer un mayor control y garantizar la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad en estas áreas.

Objetivo general del proyecto

Análisis del estado de conservación del recurso bosque en concesiones forestales otorgadas a empresas privadas y ASL's, mediante la utilización de imágenes de satélite.

Objetivos específicos

- Generar la Cobertura del suelo al 2007, para determinar el estado de conservación en las Concesiones Forestales y ASL's.
- Documentar el Cambio en la cobertura del suelo en las Concesiones Forestales y ASL's, en el período 2005-2007, mediante el uso de imágenes de satélite

Fuentes de información

• Imágenes satelitales

Para los análisis de cambio de cobertura del suelo en el período 2005-2007 se ha trabajado con 26 escenas del satélite Landsat 5 del 2005, las cuales se detallan en el Cuadro 1 y Figura 1 indicando tipo de imagen y fechas analizadas, las cuales han sido obtenidas de forma gratuita, mediante solicitud al Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais del Brasil (<http://www.dgi.inpe.br>) y descargadas vía FTP.

No.	Tipo de Imagen	Escena (Path-Row)	Fecha (año - mes - día)
1	LANDSAT 5	227-073	2007-05-04
2	LANDSAT 5	228-072	2007-08-15
3	LANDSAT 5	228-073	2007-08-15
4	LANDSAT 5	229-073	2007-08-22
5	LANDSAT 5	229-072	2007-09-23
6	LANDSAT 5	230-070	2007-08-13
7	LANDSAT 5	230-071	2007-08-13
8	LANDSAT 5	231-069	2007-08-04
9	LANDSAT 5	231-070	2007-07-03
10	LANDSAT 5	231-071	2007-07-03
11	LANDSAT 5	231-072	2007-07-03
12	LANDSAT 5	232-071	2007-09-12
13	LANDSAT 5	232-070	2007-09-12
14	LANDSAT 5	233-070	2007-06-15
15	LANDSAT 5	233-067	2007-07-01
16	LANDSAT 5	233-070	2007-06-15
17	LANDSAT 5	233-071	2007-06-15
18	LANDSAT 5	001-067	2007-08-25
19	LANDSAT 5	001-068	2007-08-25
20	LANDSAT 5	001-069	2007-09-10
21	LANDSAT 5	001-070	2007-08-25
22	LANDSAT 5	002-067	2007-07-31
23	LANDSAT 5	002-068	2007-05-12
24	LANDSAT 5	002-069-	2007-07-31
25	LANDSAT 5	003-067	2007-08-23
26	LANDSAT 5	003-068	2007-08-23

Cuadro1. Imágenes de satélite utilizadas.

Si bien las imágenes satelitales utilizadas en este estudio corresponden a la época seca (mayo a septiembre) del año 2007, que es cuando se realiza la mayor parte de la actividad forestal como desmontes y quemas, es posible que en fechas posteriores a esas se haya realizado mayor deforestación.

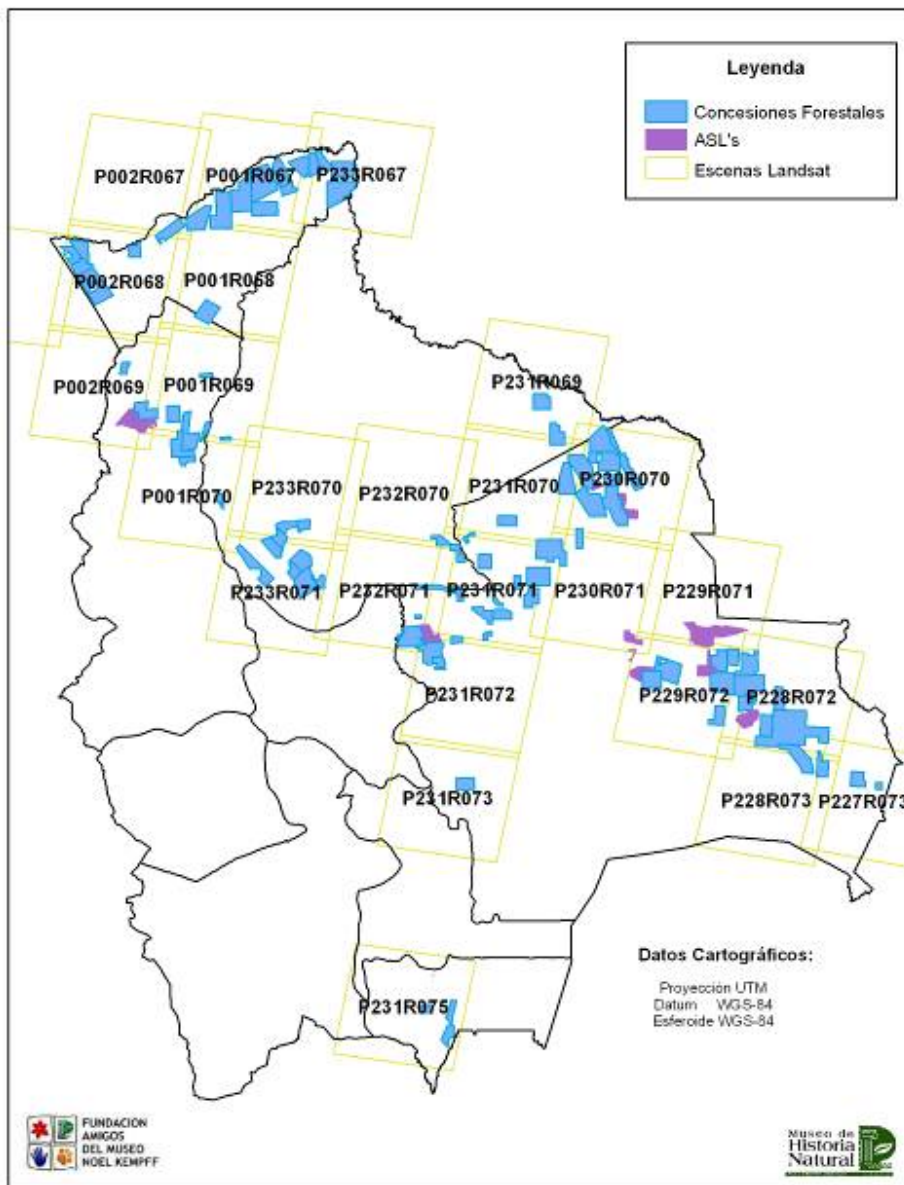


Figura 1. Escenas Landsat utilizadas para el mosaico.

- Información cartográfica**

Se ha trabajado con las coberturas geográficas oficiales y las más actuales sobre Concesiones Forestales y ASL's, proporcionadas por la Superintendencia Forestal, del año 2006, en la cual están identificadas 87 Concesiones Forestales y 22 ASL's.

Metodología de trabajo

El equipo técnico del Dpto. de Geografía e Informática ha consolidado una metodología de trabajo, sobre análisis de Cobertura y Cambios en la Cobertura y 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 satelitales* a ser utilizadas en el estudio, para determinar la Cobertura actual y el Cambio en la cobertura del suelo. La base sobre la cual se ha trabajado para generar la información actualizada ha sido el estudio previo realizado por el Dpto. de Geografía e Informática, en donde se analizó el cambio de coberturas en las Concesiones Forestales y ASL`s hasta el 2005.

Para la *corrección geométrica*, las imágenes fueron geo-referenciadas utilizando imágenes orthorectificadas de las mismas escenas como fuente para puntos de control. Existieron algunos problemas al momento de la georeferenciación, los cuales pudieron solucionarse pero demoraron un poco en el avance del trabajo.

Cada imagen fue georeferenciada y posteriormente clasificada en la proyección original de la adquisición (UTM – Datum y Elipsoide WGS84), y manteniendo la zona correspondiente (19, 20 y 21).

El *análisis digital (clasificación de las imágenes)*, para generar el Mapa de Cobertura del suelo, fue realizado con la metodología de clasificación no supervisada que utiliza el algoritmo Isodata; los datos fueron agrupados en 125 clases, y luego de un análisis espacial y espectral, fueron asignados a las clases identificadas en el análisis visual de la imagen original.

Una vez finalizada la clasificación de imágenes, se procedió a unir las escenas en un *mosaico* (Mapa de cobertura actual 2007), que fue luego analizado con el mosaico de los períodos anteriores para la *detección o mapeo de cambios* producidos por acciones antrópicas sobre la cobertura natural (Mapa de cambio de uso del suelo 2005-2007). Se analizaron los datos multitemporales (imágenes clasificadas de dos o más fechas), utilizando el método de comparación de mapas de épocas diferentes o clasificación cruzada de imágenes clasificadas, donde se realiza una comparación píxel a píxel que origina un nuevo archivo con diversas combinaciones que indican aquellas zonas que han experimentado transformaciones y el tipo de cambio ocurrido.

Resultados

Como producto del análisis de las imágenes de satélite e información cartográfica existente, se tienen los siguientes resultados:

Productos	Actividades
Producto 1 Análisis de cambio en la cobertura del suelo durante el periodo 2005-2007, para: A: Concesiones Forestales: certificadas y no certificadas. B: Agrupaciones Sociales del Lugar (ASL's).	<ul style="list-style-type: none">- Selección y adquisición de Imágenes de satélite- Georeferenciación y clasificación de imágenes, para generar los Mapas de Cobertura actual, para cada fecha estudiada.- Creación del mapa de Cambio en la cobertura del suelo.

La información generada, el cambio en la cobertura del Suelo para las Concesiones Forestales en el período 2005-2007, se presenta en el Anexo 1. Luego en el Anexo 2 se presentan los datos obtenidos del cambio de Uso de Suelo para el periodo 2005-2007.

Actores y acciones que intervienen en el cambio de uso de suelo en las concesiones forestales y ASL's.

De acuerdo a lo que puede apreciarse en los cambios encontrados tanto en los mapas de Cambio de Uso de Suelo en Concesiones y ASL's, los cambios producidos al bosque en su mayoría son resultado de:

La presión humana por el avance de la frontera agrícola, causando avasallamientos y/o asentamientos ilegales en las áreas, sobre todo en aquellas concesiones cercanas a poblaciones, núcleos, comunidades o asentamientos humanos donde existe mayor presión y demanda de tierra para el uso agropecuario. (Ver ejemplos figuras 2, 3).

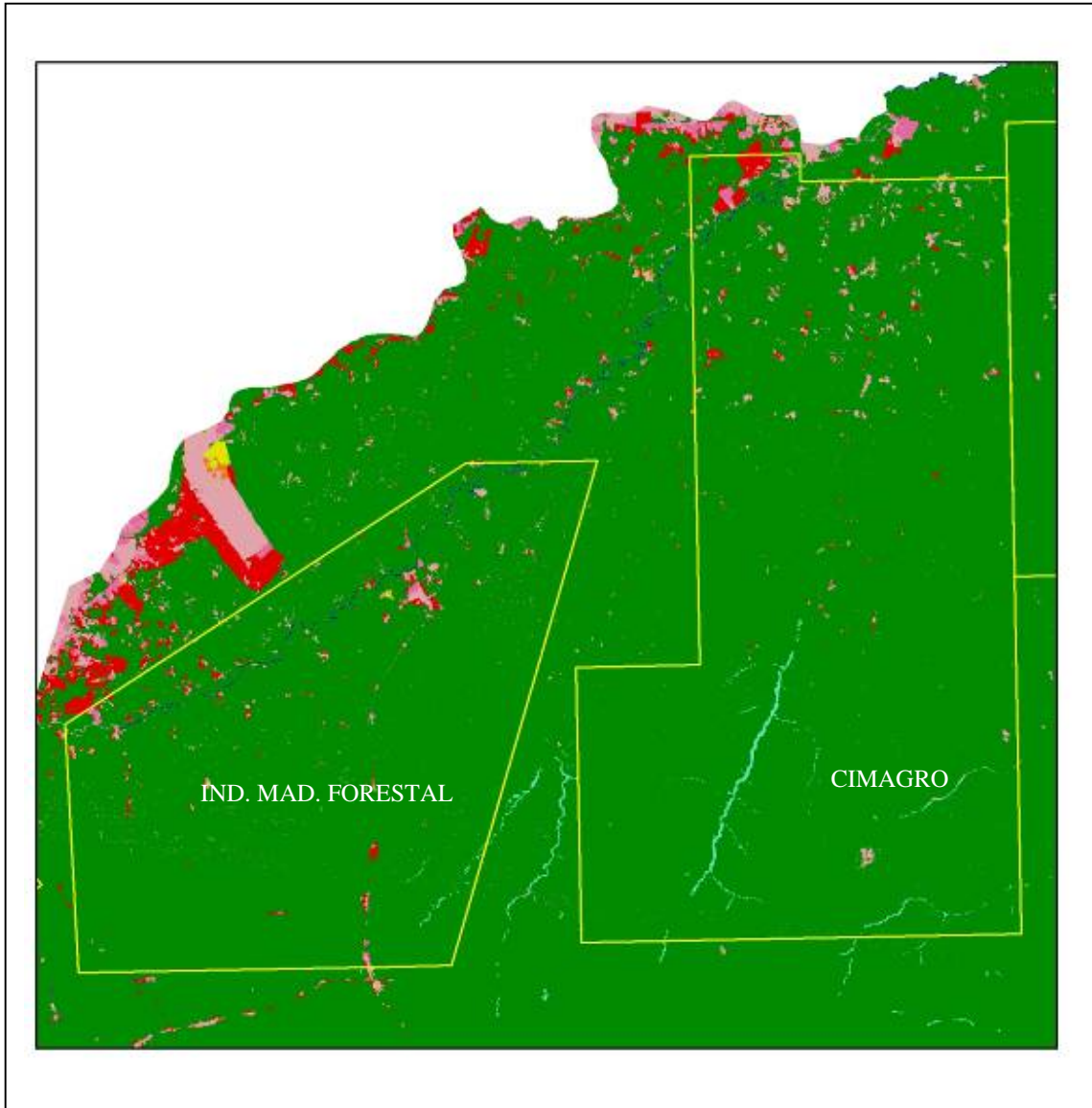


Figura 2. Cambio de uso de suelo 2007 (en color rojo) en concesiones cercanas a comunidades, Departamento de Pando.

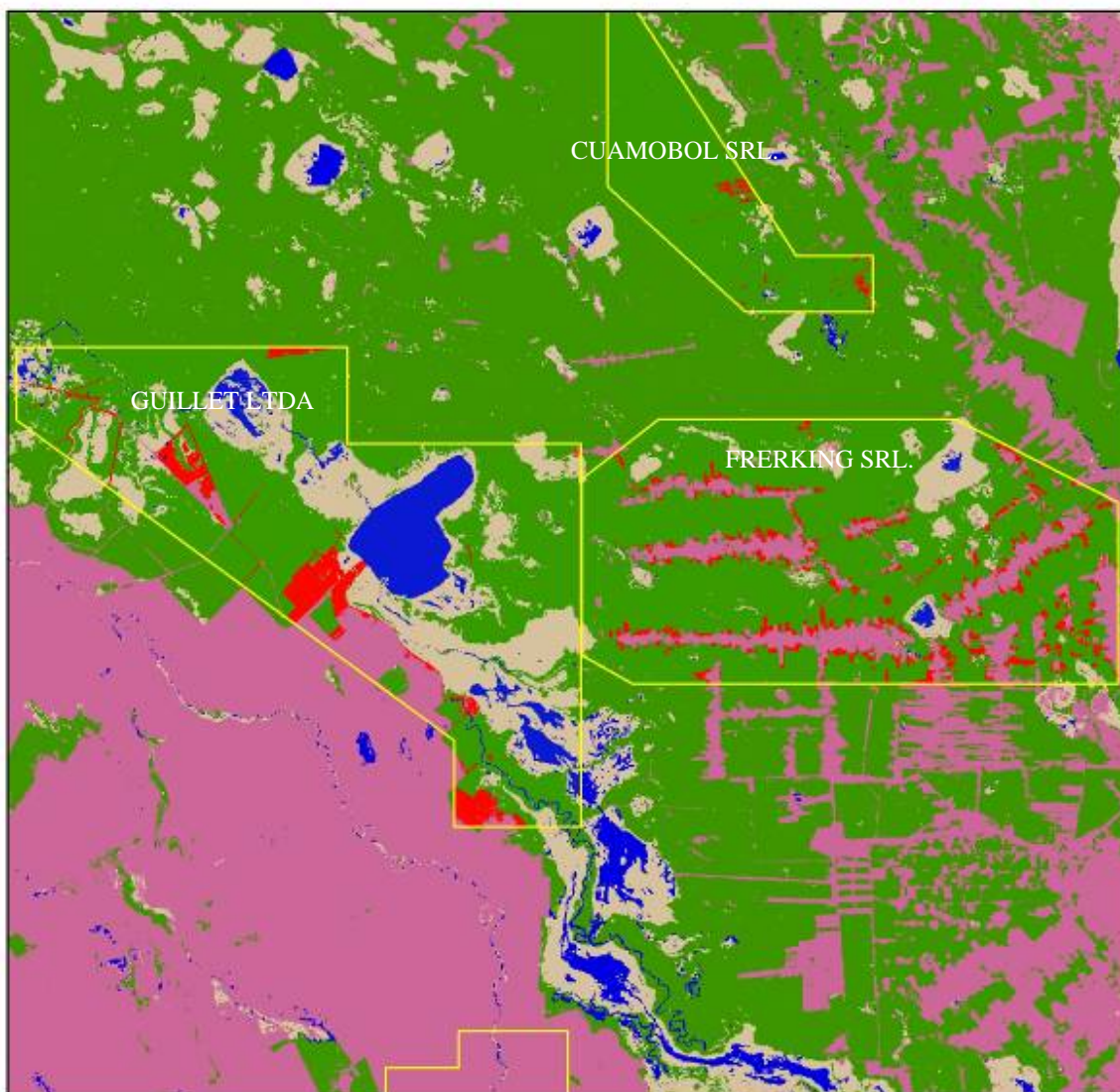


Figura 3. Cambio de uso de suelo (en color rojo) en concesiones cercanas a comunidades, al Sureste y Este de Ascención de Guarayos, Departamento de Santa Cruz.

La figuras 4 y 5 presentadas a continuación muestran dos ASL`s con mayor cambio para el periodo 2005-2007, las cuales presentan un bajo impacto cuando comparadas con las concesiones forestales de empresas madereras.



Figura 4: Cobertura de Cambio y Uso de Suelo en la ASL- Asociación de Aserraderos Yapacaní



Figura 5: Cobertura de Cambio y Uso de Suelo en la ASL- 7 Palmas.

Conclusiones

La información generada en el presente estudio pretende analizar el estado de conservación en las Concesiones Forestales y ASL's de Bolivia. Los estudios detallados y actualizados en cuanto a la dinámica del cambio en la cobertura del suelo, permiten apoyar a los tomadores de decisión en el establecimiento de herramientas para una mejor gestión en estas áreas, identificando las prioridades para el manejo y protección de las mismas.

El presente estudio muestra el análisis del cambio en la cobertura del suelo para el período 2005-2007, e incorpora cambios anteriores. Las Concesiones Forestales evidencian cambios más notorios en la cobertura del suelo comparado con las ASL's, luego, las concesiones con certificación forestal voluntaria, presentan menor cambio o impacto de aprovechamiento que las concesiones que no cuentan con certificación forestal.

En los resultados obtenidos para concesiones forestales vemos que estas presentan datos de cambio muy diversos, ya que existen concesiones con mucho cambio y otras con prácticamente nada, además a esto debemos añadir la variabilidad en cuanto a superficie total de concesión. Solo como dato general, se obtuvo un promedio de 378 ha con cambio, siendo las concesiones con mayor superficie de cambio: Empresa Maderera Barbery y Hnos Ltda, con 18,24 % de su superficie total, seguida por la Concesión de Industria Maderera Jalil con el 10,07 % de su superficie y el Aserradero Frerking SRL con un área de cambio del 6,30 % de su superficie total. Como dato comparativo vemos que algunas concesiones no llegaron a registrar ni el 1% de superficie con cambio, como por ejemplo Industria Muebles Roda, Industria Maderera Cronembold y SAM Bolivian Roble SRL.

De las 22 ASL's que se tienen en el país, ninguna presenta un cambio de uso de suelo significativo, todas no llegan ni al 1 % del total de su superficie con cambio.

Es importante la valoración de productos de teledetección (imágenes satelitales) por la reducción significativa de costos que implica el monitoreo remoto, lo que hace de esta herramienta una excelente opción para el seguimiento de parámetros ambientales como la cobertura vegetal, analizando patrones de cambio y el estado actual de las coberturas.

Referencias Bibliográficas

- BOLFOR – SIF, **Tasa de Deforestación del Departamento de Santa Cruz, Bolivia 1993-2000**, Santa Cruz, Bolivia 2001.
- Cámara Forestal de Bolivia. **“Diagnóstico del Plan Forestal y el Plan Estratégico Para el Desarrollo del Sector Forestal de Bolivia”**. SCTP, 2000.
- Chuvieco, E. 2002. **Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio**. Ariel Ciencia. Barcelona. 586 págs.
- Davis, R. 1996. México Country Brief : **Interim Forest Cover Assessment for SOFO 1997**. Rome. FAO.
- Dinerstein, E.; Olson, D.; Graham, D.; Webster, A.; Primm, S.; Bookbinder, M.; Ledec, G. 1995. **Una Evaluación del Estado de Conservación de las Eco-regiones Terrestres de América Latina y el Caribe**. Banco Mundial - WWF. Washington. 135 págs.
- Killeen, T.; Siles, T.; Soria, L.; Correa, L. 2005. **Estratificación de vegetación y cambio de uso de suelo en los Yungas y Alto Beni de La Paz**. Ecología en Bolivia: revista del Instituto de Ecología, Vol. 40, N°. 3, 2005, págs. 32-69.
- Lillesand, T., Kiefer, R., 1994. **Remote Sensing and Image Interpretation**. John Wiley, Inc. New York. 749 págs.
- MDSP-VPOT. 2002. Fuente para: **Información base y Límites Políticos**.
- University of Maryland, Geography Department. 1998. **NASA Landsat Pathfinder Humid Tropical Deforestation Project**.

Anexos

Anexo 3

Definición de clases de cobertura del suelo

Bosque. Incluye todas las coberturas naturales donde predomina la vegetación arbórea.

Cerrado. Esta clase incluye los varios complejos de sabanas en suelos más o menos bien drenados.

Chaco. En esta clase se incluyen los matorrales y bosques semialtos del sur de Bolivia (Región chaqueña).

Llanos (Sabanas húmedas). Son sabanas de regiones bajas.

Humedales. Áreas que están temporal o permanentemente inundadas.

Puna y Altiplano. Incluye un conjunto de unidades de las Zonas Biogeográficas de Puna y matorrales andinos.

Agua. Incluye todos los cuerpos de agua (lagunas, ríos, represas y otros).

Cambio de cobertura. Son áreas donde la cobertura natural ha sido intervenida por el hombre, principalmente para el establecimiento de agricultura y ganadería. En el presente estudio se hace un análisis para tres períodos de tiempo, antes de 1990, y para los períodos 1990-2000, 2000-2005 y 2005-2007.

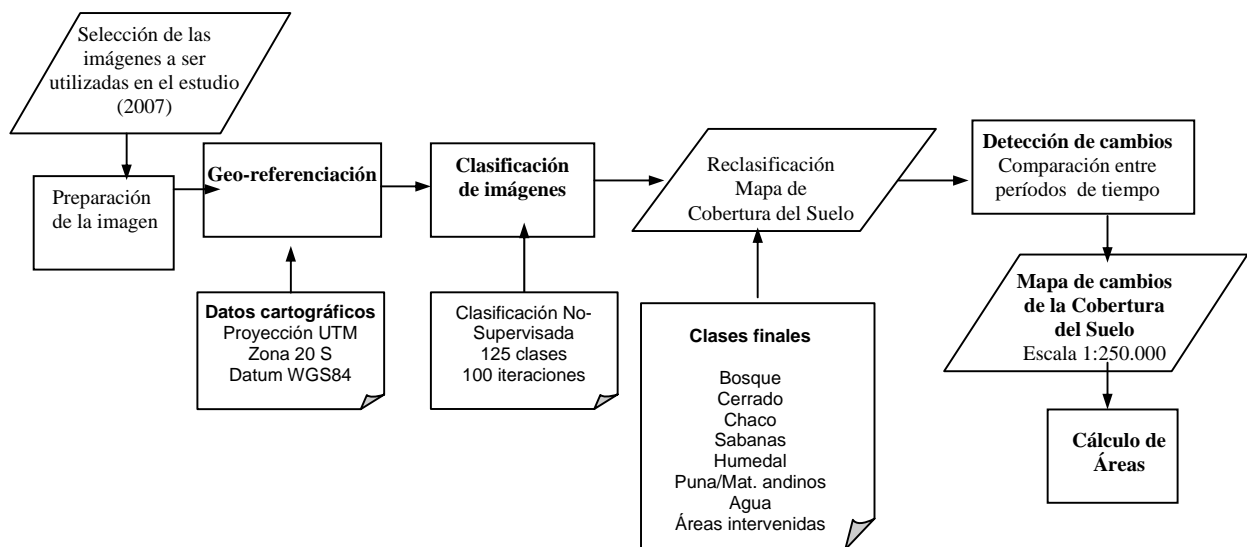
Anexo 4

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. 1).

Fig. 1. 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 (Cuadro 1). 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 efectiva que la banda TM3 para caminos, o tros 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 bada 3 para caminos y claros.
6	10.4 – 12.5 (Termal)	Resolución : 120 m Esta región espectral responde a la radiación termal (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 esta 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)

Una buena rectificación de las imágenes de satélite es crucial para lograr la mayor precisión geométrica para realizar análisis multitemporales, como en este caso para detección de cambios en la cobertura del suelo.

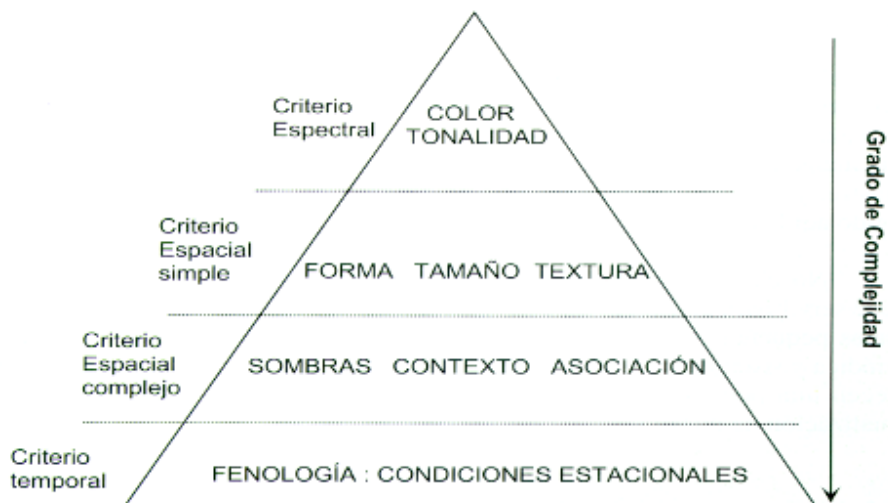
La corrección geométrica consiste en realizar cambios en la posición que ocupan los píxeles de la imagen, es decir, se le asigna a la imagen un sistema de proyección (Chuvienco, 2002). En este caso se realizaron Correcciones no paramétricas (también llamadas correcciones de escena), las cuales tienen 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.

Estas correcciones geométricas fueron ejecutadas con ayuda del programa para análisis de imágenes ERDAS IMAGINE, para lo cual se utilizaron como referencia imágenes orthorectificadas. Tanto la imagen de referencia como las imágenes a ser georeferenciadas fueron trabajadas en la proyección UTM, en su zona correspondiente, Datum WGS84, teniendo como unidad de medida al metro. Para la geo-referenciación se utilizó la opción RASTER/GEOMETRIC CORRECTION, seleccionando el modelo POLYNOMIAL.

La selección de los puntos de control debió cumplir con las siguientes características: fácilmente localizables, perdurables en el tiempo.

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.2).



Fuente: Chuvienco, 2002.

Fig. 2. Criterios de interpretación visual

4. Clasificación digital

Como producto de la clasificación digital es que se obtienen los mapas temáticos con las categorías objeto de estudio; en este caso el resultado es el Mapa de Cobertura del Suelo y Cambio de la cobertura para diferentes períodos de tiempo. La escala de estos mapas es de 1:250.000 y la unidad mínima de mapeo ha sido de 2 hectáreas.

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 (Chuvienco,2002).

El Mapa de Cobertura del Suelo fue producido con 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 en los canales RGB con 100 iteraciones; estos parámetros dieron una clasificación muy similar a la imagen original. Se utilizó imágenes LANDSAT y CBERS.

Las 125 clases resultantes fueron agrupadas, haciendo un análisis espacial y espectral, en 8 clases de cobertura del suelo, que fueron observados en la imagen sin clasificar (Bosque, Cerrado, Chaco, Sabana, Humedal, Puna y matorrales andinos, Agua y Áreas intervenidas), 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.

5. Detección de cambios (Cambios en la cobertura del suelo)

Los estudios de detección de cambios tienen por objeto analizar qué rasgos presentes en un determinado territorio se han modificado entre dos o más fechas (Chuvienco, 2002).

Para mapear los cambios en la cobertura del suelo, se utilizó el método de comparación de mapas de épocas diferentes o clasificación cruzada, que consiste en la comparación de datos digitales de mapas de épocas diferentes (imágenes clasificadas), de características matriciales. Se realiza una comparación píxel a píxel que origina un nuevo archivo con diversas combinaciones que indican el tipo de cambio ocurrido.

6. Cálculo de áreas

Para el mosaico final, el Mapa de Cambios en la Cobertura del suelo y Cobertura actual dentro de las Concesiones Forestales y ASL´s, se realiza un análisis espacial, de "Tabulate Area", lo cual es una tabulación cruzada de los datos, en las filas se ordenan los datos de las Concesiones y ASL´s y en las columnas la Información de Cobertura del suelo y cambios, generando automáticamente la información de áreas para cada intersección de los datos. De

esta manera, la tabla que se genera muestra el área de cada cobertura del suelo y de los cambios ocurridos para Concesión y ASL.