
Informe Técnico Final Productos 1 y 2

**Análisis del Cambio en la Cobertura del Suelo dentro de las
Áreas Protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de
Bolivia (SNAP), para el periodo 2005-2007**

Contrato BOERPO52108

Elaborado por:



Presentado a:



Santa Cruz, Junio de 2008

Datos generales del Proyecto:

Título del Proyecto: Análisis del Cambio en la Cobertura del Suelo dentro de las Áreas Protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Bolivia (SNAP), para el periodo 2005-2007

Responsables:

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

Contrato # BOERPO52108 **Productos 1 y 2**

Fundación Amigos del Museo Noel Kempff:

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

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

Fecha de inicio: 21 de mayo de 2008

Duración: 2 meses

Introducción

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Bolivia, cuya gestión integral está bajo coordinación del SERNAP, conserva importantes muestras del patrimonio natural, histórico y cultural de nuestro país, abarcando aproximadamente un 15 % del territorio nacional. Las Áreas Protegidas actuales del SNAP están agrupadas en tres categorías de manejo, Parque Nacional, Reserva de Vida Silvestre y Área Natural de Manejo Integrado, designadas por sus características particulares y las cuales establecen diferentes niveles de protección y reglamentación para el uso sostenible de los recursos.

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 en la cobertura y 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) para determinar el cambio de cobertura en el período 2005-2007, actualizando la información de un estudio previo sobre cambios anteriores a 1990 y de los períodos 1990-2000 y 2000-2005, y finalmente incorporando esta información en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para facilitar su análisis.

La información generada pretende aportar a las iniciativas para la conservación tanto a nivel de Sistema de Áreas Protegidas como a la gestión individual de cada una de las Áreas, apoyando principalmente a las actividades de monitoreo de los recursos en los Programas de Protección, para garantizar el cumplimiento de los objetivos de creación de estas áreas, identificando sitios prioritarios para el manejo y protección.

La finalidad de este trabajo es tener un conocimiento real del estado de conservación de la Cobertura Vegetal en las Áreas Protegidas y poder 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

La determinación de tasas de deforestación es la medida más objetiva para analizar el éxito de programas de conservación de la biodiversidad, especialmente en Áreas Protegidas. El presente trabajo continúa los estudios que han venido siendo desarrollados por el Museo con el apoyo de TNC y otras instituciones, convencidos de la importancia del mapeo de los cambios en la Cobertura del suelo para varios períodos de tiempo (estudios multitemporales), los cuales se constituyen en componentes claves en el establecimiento de programas de monitoreo a largo plazo, contribuyendo a mejorar el conocimiento para el manejo y uso sostenible de nuestros recursos naturales.

Con la realización de este estudio, ejecutado por el Dpto. de Geografía e Informática del Museo de Historia Natural Noel Kempff, con financiamiento de The Nature Conservancy (TNC), se da continuidad a un proceso de análisis del Estado de Conservación de las coberturas naturales, mediante el análisis de cambios en la cobertura del suelo en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Bolivia (SNAP), reconociendo el gran valor que tienen nuestras áreas protegidas. Estas áreas albergan bosques que se encuentran entre los más ricos del planeta en cuanto a biodiversidad, y son habitados por pueblos cuya cultura, identidad y desarrollo dependen de estos recursos naturales.

Objetivo General del Proyecto

Elaborar un informe completo sobre el Cambio en la cobertura de Uso de Suelo dentro de las Áreas Protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Bolivia (SNAP), para el período 2005-2007, incorporando la información del estudio previo realizado para tres períodos de tiempo, anterior a 1990, entre 1990-2000, y entre 2000-2005.

Objetivos específicos

- Generar la Cobertura del suelo al 2007, para determinar el estado de conservación en las Áreas Protegidas del SNAP.
- Documentar el Cambio en la cobertura del suelo en las Áreas Protegidas del SNAP, en el período 2005-2007, mediante el uso de imágenes de satélite.
- Sistematizar la información generada en un Sistema de Información Geográfica, brindando información útil para orientar la gestión de las Áreas Protegidas y el SERNAP.

Fuentes de información

• Imágenes satelitales

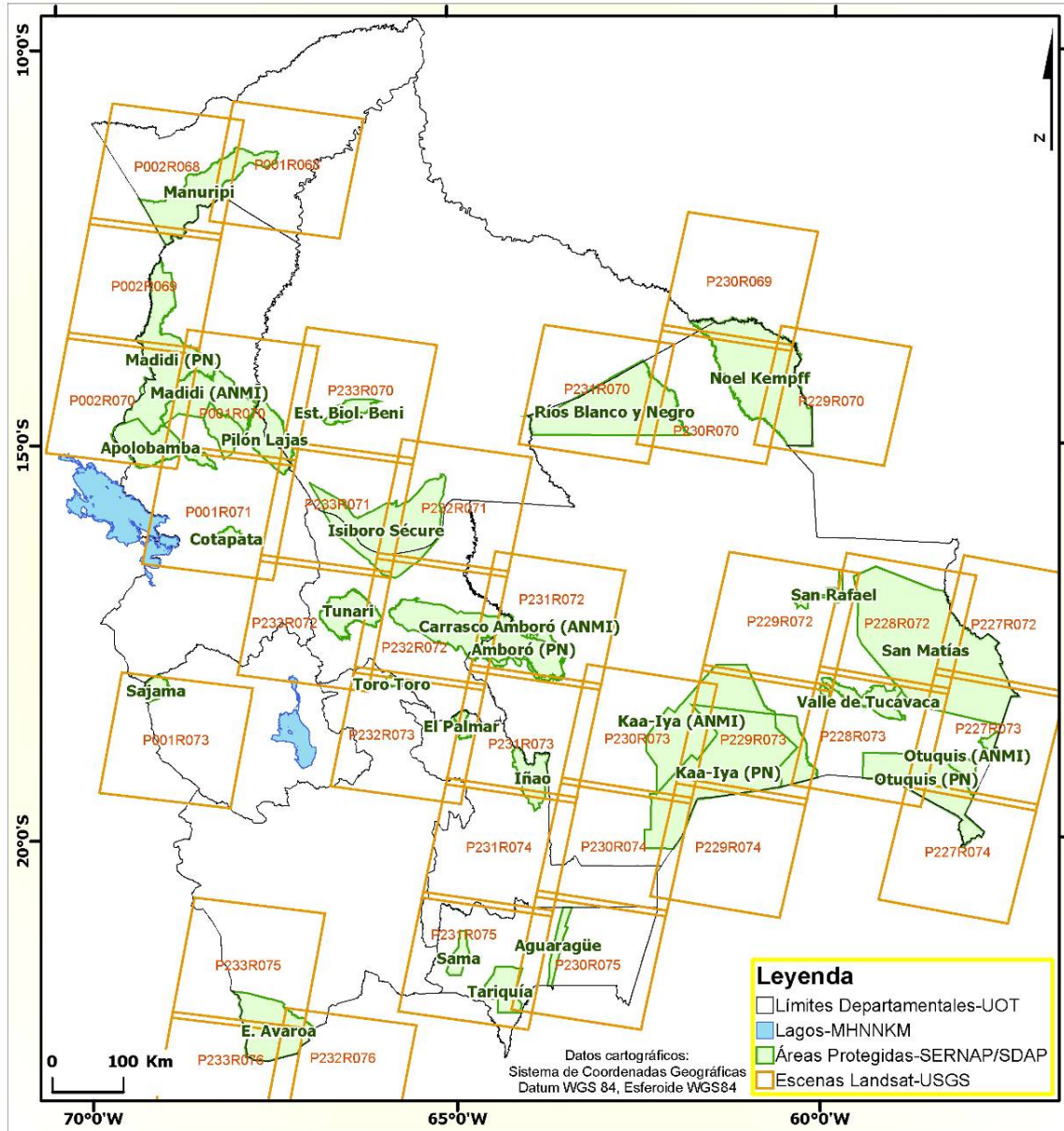
Para los análisis de cambio de cobertura del suelo en el período 2005-2007 se ha trabajado con 35 escenas del satélite Landsat 5 TM, las cuales se detallan en la Tabla 1 y Figura 1 indicando fechas analizadas, las cuales han sido obtenidas de forma gratuita, mediante solicitud al Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais del Brasil (<http://www.dgi.inpe.br>) y descargadas vía FTP. La base sobre la cual se ha trabajado para generar esta información actualizada ha sido un estudio anterior, elaborado por el Dpto. de Geografía e Informática del Museo de Historia Natural Noel Kempff, financiado por TNC, en donde se analizó el cambio de coberturas en las Áreas Protegidas hasta el año 2005.

Las imágenes satelitales utilizadas en este estudio corresponden a la época seca del año 2007 (junio a septiembre), ya que es el período en que principalmente se presentan actividades de desmontes; sin embargo, es posible que se haya realizado deforestación en fechas posteriores a las analizadas.

Cuadro 1. Escenas Landsat utilizadas para el análisis del cambio en la cobertura del suelo.

Nº	PATH	ROW	Fecha (año mes día)
1	P001	R068	20070825
2	P001	R070	20070910
3	P001	R071	20070825
4	P001	R073	20070825
5	P002	R068	20070731
6	P002	R069	20070731
7	P002	R070	20071003
8	P227	R072	20070909
9	P227	R073	20070909
10	P227	R074	20070909
11	P228	R072	20070815
12	P228	R073	20070815
13	P229	R070	20070822
14	P229	R072	20070822
15	P229	R073	20070822
16	P229	R074	20070822
17	P230	R069	20070813
18	P230	R070	20070813
19	P230	R073	20070914
20	P230	R074	20070914
21	P230	R075	20070930
22	P231	R070	20070703
23	P231	R072	20070719
24	P231	R073	20070719
25	P231	R074	20070719
26	P231	R075	20070719
27	P232	R071	20070912
28	P232	R072	20070928
29	P232	R073	20070811
30	P232	R076	20070827
31	P233	R070	20070615
32	P233	R071	20070903
33	P233	R072	20070701
34	P233	R075	20070903
35	P233	R076	20070903

Figura 1. Escenas Landsat utilizadas en el análisis del cambio en la cobertura del suelo.



• **Información cartográfica**

Se ha trabajado con las coberturas geográficas oficiales y más actuales sobre Áreas Protegidas Nacionales (SERNAP y SDAP Santa Cruz, 2007), así como en lo referente a cartografía base y división política (Dirección General de Ordenamiento Territorial, 2002).

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 Áreas Protegidas 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. Cada imagen fue georeferenciada y posteriormente clasificada en la proyección original de la adquisición (UTM – Datum y Esferoide 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 (ver Anexo 2). El proceso de análisis visual de las imágenes se ve en ocasiones limitado por algunos aspectos como ser relieve, nubes, sombra y por la falta de trabajo de campo; por ello, se ha tratado de utilizar imágenes donde la cobertura de nubes sea casi nula y las áreas que presentaban nubes han sido analizadas con escenas de años aproximados al del estudio.

Una vez finalizada la clasificación de imágenes, se procedió a unir las escenas en un *mosaico*, 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. 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 pixel a pixel que origina un nuevo archivo con diversas combinaciones que indican aquellas zonas que han experimentado transformaciones y el tipo de cambio ocurrido.

La escala de los mapas de cambio en la cobertura del suelo y de cobertura actual, generados en base a las imágenes satelitales, es de 1:250.000 y la unidad mínima de mapeo ha sido de 2 hectáreas. Para una explicación más detallada de la metodología seguida para el procesamiento de imágenes satelitales ver Anexo 3.

Finalmente se desarrolló un Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando el programa ArcGIS, en el cual se incorpora la información generada sobre el Cambio en la Cobertura del Suelo, permitiendo realizar *análisis cuantitativos*, hacer diversas consultas y generar reportes con la información existente, de acuerdo a diversos requerimientos (ver Anexo 4).

Resultados

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

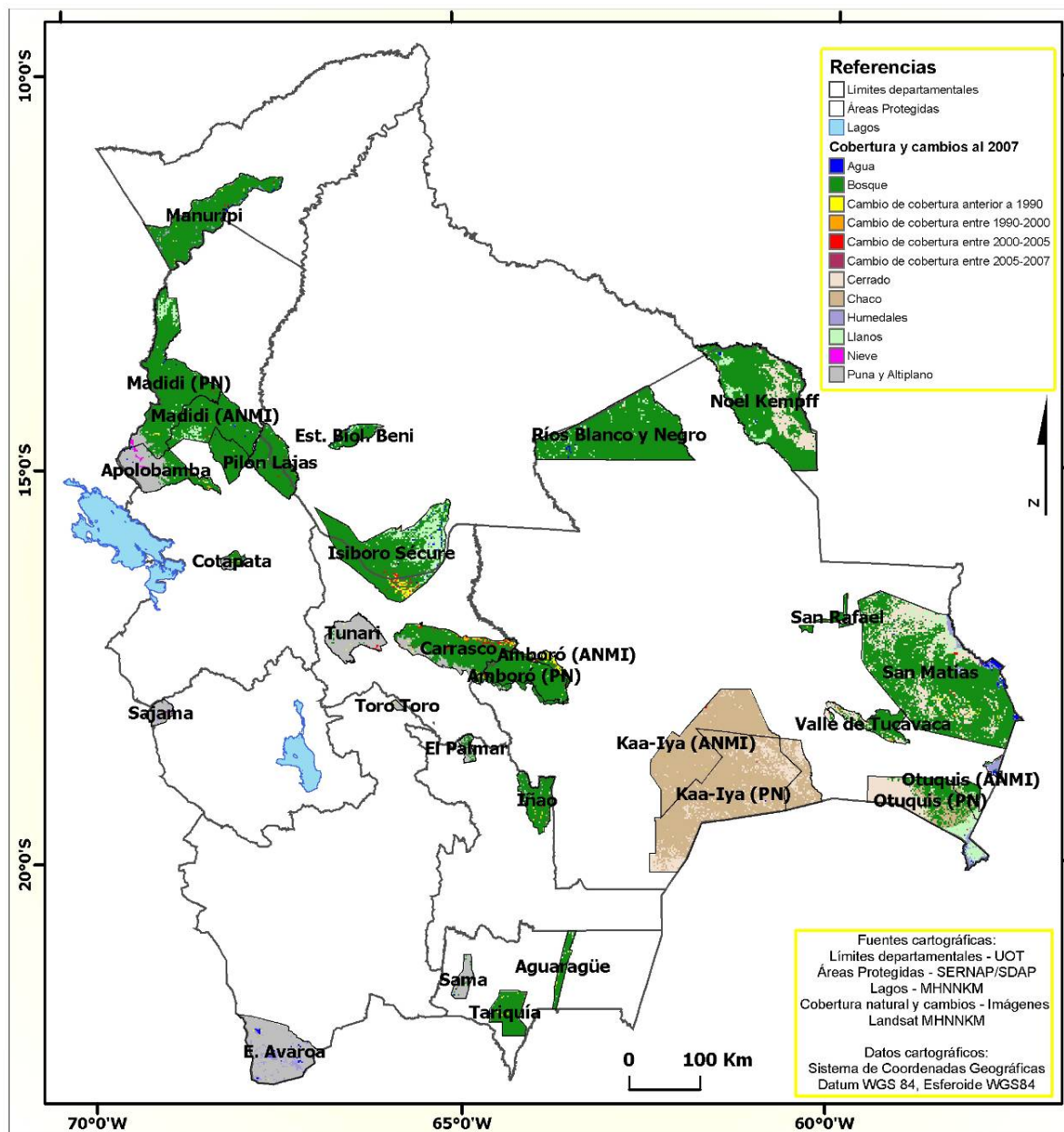
Productos	Actividades
<p>Producto 1 Análisis de cambio en la cobertura del suelo durante el periodo 2005-2007, para A: Áreas Protegidas Nacionales de las Tierras Bajas de Bolivia (excluidas las Áreas Protegidas Reserva de Fauna Andina Eduardo Avaroa, Parque Nacional Sajama, Parque Nacional Toro Toro, Parque Nacional Cotapata y Parque Nacional Tunari. B: Áreas Protegidas departamentales Rios Blanco y Negro, San Rafael y Valle de Tucavaca (Figura 2).</p>	<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.
<p>Producto 2 Análisis aproximado de cambio en la cobertura del suelo para las Áreas Protegidas de Alta Montaña del SNAP, para el periodo 2005-2007: Reserva Eduardo Avaroa, Parque Sajama, Parque Toro Toro, Parque Cotapata, Parque Tunari, El Palmar, Reserva Tariquia, Parque Aguaragüe y Parque Sama (Figura 2).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Similar al Producto 1

La información generada, el cambio en la cobertura del Suelo para las Áreas Protegidas, en el período 2005-2007, está organizada en un Sistema de Información Geográfica (ver Anexo 4), y es presentada en formato digital en archivos individuales, con sus metadatos respectivos (ver Anexo 5).

Cambios en la cobertura del suelo y Cobertura actual (al 2007)

La información generada del análisis visual de las imágenes y los resultados de la clasificación (interpretación digital) se muestran en la Figura 2 (ampliado en Anexo 1) y Cuadros 2, 3 y 4.

Figura 2. Mapa de Cobertura del suelo y cambio en la cobertura dentro de las Áreas Protegidas (ver mapa ampliado en Anexo 1).



Los resultados del presente estudio muestran que **entre 2005 y 2007 35.902 hectáreas** han sufrido cambios, dentro del actual Sistema Nacional de Áreas Protegidas, un poco menor que en el período 2000-2005 en el cual la deforestación alcanzó un total de **60.461 has** (Cuadro 2).

Cuadro 2. Superficie (en hectáreas) de las unidades del Mapa de Cobertura y de cambios en la cobertura del suelo, al 2007.

Áreas Protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Bolivia

Área Protegida	Bosque	Chaco	Cerrado	Llanos	Puna/ Mator.	Humedal	Agua	Cambio entre 2000-2005	Cambio entre 2005- 2007
Aguaragüe	102.208	111	4.581	0	0	87	133	213	580
Amboró (PN)	429.595	0	1.212	2.364	2.102	71	67	674	938
Amboró (ANMI)	105.350	0	321	1.152	6.436	112	149	4.274	2.163
Apolobamba	167.268	0	0	2.118	298.592	379	3.859	2.075	714
Carrasco	536.851	0	0	5.205	94.140	299	696	12.971	5.327
Cotapata	32.219	0	0	82	24.730	0	89	597	0
E. Avaroa	0	0	0	0	607.617	63.644	10.927	0	0
El Palmar	24.773	0	0	0	34.399	0	102	117	0
Est. Biol. Beni	120.463	0	0	12.152	0	373	1.380	353	392
Iñaño	241.590	0	4.518	0	8.792	0	674	1.320	2.094
Isiboro Sécore	947.197	0	0	284.400	0	2.850	13.278	12.892	12.076
Kaa-lya (PN)	0	1.599.003	324.552	0	0	0	353	93	147
Kaa-lya (ANMI)	0	1.359.775	126.198	0	0	2	100	968	105
Madidi (PN)	1.165.181	0	0	64.192	50.274	50	3.651	973	1.143
Madidi (ANMI)	552.512	0	0	46.205	0	675	1.819	754	1.819
Manuripi	723.669	0	0	348	0	34.432	8.077	3.010	1.884
Noel Kempff	1.211.985	0	303.143	85.711	0	3.328	10.164	66	43
Otuquis (PN)	279.941	139.615	290.035	125.070	0	65.649	16.253	1.404	107
Otuquis (ANMI)	58.942	17.464	953	24.411	0	1.352	132	715	210
Pilón Lajas	387.153	0	0	4.971	0	1.020	1.892	3.688	1.588
Sajama	0	0	0	0	87.929	5.708	161	0	11
Sama	6.809	0	0	0	98.394	146	1.023	228	0
San Matías	2.012.330	3	698.046	109.619	0	53.100	47.125	7.344	3.074
Tariquía	234.777	0	754	0	2.356	2	589	1.754	1.485
Toro Toro	1.196	0	0	0	15.062	0	0	0	0
Tunari	11.463	0	0	0	310.399	0	34	3.978	0
Total Cambio								60.461	35.902

Áreas Protegidas del Sistema Departamental de Áreas Protegidas de Santa Cruz

Ríos Blanco y Negro	1.313.442	0	2.321	56.313	0	15	5.731	643	267
San Rafael	65.032	0	1.477	27	0	1	1	115	331
Valle de Tucavaca	183.133	5.435	67.095	0	0	24	0	2.268	2.242
Total Cambio								3.027	2.840

En el Cuadro 3 se muestra la información referente al estado de conservación de los ecosistemas en las Áreas Protegidas al 2007, donde se puede notar de manera general un buen estado de conservación, en relación a pérdida de la cobertura natural debido a intervenciones antrópicas.

Cuadro 3. Cobertura natural y cambio en la cobertura en las Áreas Protegidas, al 2007.

Áreas Protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Bolivia

Área Protegida	Superficie total del AP (has)	Cobertura Natural (%)	Cambio anterior a 1990 (%)	Cambio entre 1990-2000 (%)	Cambio entre 2000-2005 (%)	Cambio entre 2007-2005 (%)	Cambio Total (%)
Aguaragüe	111.090	96,4	2,8	0,0	0,2	0,5	3,6
Amboró (PN)	438.437	99,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,7
Amboró (ANMI)	159.810	71,0	22,4	2,5	2,7	1,4	29,0
Apolobamba	479.111	98,6	0,5	0,3	0,4	0,1	1,4
Carrasco	691.763	92,1	2,8	2,4	1,9	0,8	7,9
Cotapata	61.607	92,7	6,3	0,0	1,0	0,0	7,3
E. Avaroa	683.316	99,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2
El Palmar	60.313	98,3	1,5	0,0	0,2	0,0	1,7
Est. Biol. Beni	135.158	99,4	0,0	0,0	0,3	0,3	0,6
Iñaño	262.769	97,3	1,3	0,2	0,5	0,8	2,7
Isiboro Sécore	1.302.745	95,8	1,7	0,6	1,0	0,9	4,2
Kaa-lya (PN)	1.925.797	99,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Kaa-lya (ANMI)	1.490.099	99,7	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3
Madidi (PN)	1.288.978	99,6	0,2	0,1	0,1	0,1	0,4
Madidi (ANMI)	605.367	99,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,7
Manuripi	779.485	98,3	0,8	0,2	0,4	0,2	1,7
Noel Kempff	1.617.969	99,8	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2
Otuquis (PN)	918.215	99,8	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2
Otuquis (ANMI)	104.207	99,1	0,0	0,0	0,7	0,2	0,9
Pilón Lajas	402.672	98,1	0,3	0,3	0,9	0,4	1,9
Sajama	94.064	99,7	0,2	0,1	0,0	0,0	0,3
Sama	106.770	99,6	0,2	0,0	0,2	0,0	0,4
San Matías	2.944.208	99,2	0,4	0,1	0,2	0,1	0,8
Tariquía	246.612	96,7	1,8	0,2	0,7	0,6	3,3
Toro Toro	16.826	96,6	3,4	0,0	0,0	0,0	3,4
Tunari	329.104	97,8	1,0	0,0	1,2	0,0	2,2

Áreas Protegidas del Sistema Departamental de Áreas Protegidas de Santa Cruz

Ríos Blanco y Negro	1.379.724	99,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
San Rafael	67.298	98,9	0,3	0,2	0,2	0,5	1,1
Valle de Tucavaca	264.756	96,6	0,1	1,6	0,9	0,8	3,4

En las 22 Áreas Protegidas del SNAP, que cubren un total de 17.256.491 hectáreas y corresponden al 15,7 % del Territorio Nacional, un 98,4 % de la superficie presenta la cobertura natural (Cuadro 4).

Como se muestra en el Cuadro 4, los cambios entre 2005 y 2007 se han dado principalmente en Áreas que están en la categoría de Áreas Naturales de Manejo Integrado o que todavía no tienen establecida su zonificación.

Cuadro 4. Cobertura Natural y Cambios en la cobertura, dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

Área Protegida	Cobertura Natural	Cambio anterior a 1990	Cambio entre 1990-2000	Cambio entre 2000-2005	Cambio entre 2005-2007	
Aguaragüe	107.119	3.146	31	213	580	
Amboró (PN)	435.411	1.099	314	674	938	
Amboró (ANMI)	113.521	35.850	4.003	4.274	2.163	
Apolobamba	472.216	2.542	1.564	2.075	714	
Carrasco	637.191	19.583	16.691	12.971	5.327	
Cotapata	57.120	3.890	1	597	0	
E. Avaroa	682.189	904	223	0	0	
El Palmar	59.274	922	0	117	0	
Est. Biol. Beni	134.367	46	0	353	392	
Iñaño	255.574	3.328	451	1.320	2.094	
Isiboro Sécore	1.247.725	22.321	7.730	12.892	12.076	
Kaa-lya (PN)	1.923.907	867	783	93	147	
Kaa-lya (ANMI)	1.486.075	1.356	1.595	968	105	
Madidi (PN)	1.283.347	2.842	673	973	1.143	
Madidi (ANMI)	601.211	869	714	754	1.819	
Manuripi	766.526	6.179	1.887	3.010	1.884	
Noel Kempff	1.614.332	2.016	1.511	66	43	
Otuquis (PN)	916.563	30	111	1.404	107	
Otuquis (ANMI)	103.254	3	24	715	210	
Pilón Lajas	395.036	1.137	1.223	3.688	1.588	
Sajama	93.798	161	94	0	11	
Sama	106.372	170	1	228	0	
San Matías	2.920.223	10.718	2.849	7.344	3.074	
Tariquía	238.478	4.434	462	1.754	1.485	
Toro Toro	16.258	568	0	0	0	
Tunari	321.896	3.230	0	3.978	0	
Totales (has)	16.988.982	128.210	42.936	60.461	35.902	17.256.491
%	98,4	0,7	0,2	0,4	0,2	100

Conclusiones

La información generada en el presente estudio pretende aportar a las iniciativas para la conservación en las Áreas Protegidas de Bolivia, como una base para el monitoreo de los ecosistemas naturales. 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 áreas Protegidas de Tierras bajas evidencian cambios más notorios en la cobertura del suelo, esto por la presencia de los principales factores antrópicos que determinan la conversión para establecer áreas de cultivo, como caminos, nuevos asentamientos, chaqueos, quemas, avance de la frontera agropecuaria.

Es preciso valorar la aplicación 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.

Para fines de este informe se han desarrollado sólo algunos de los resultados que se pueden obtener de la información generada sobre el cambio en la cobertura en las Áreas Protegidas; el usuario, de acuerdo a sus requerimientos, podrá realizar las consultas que le sean más útiles.

Referencias Bibliográficas

- Chuvieco, E. 2002. **Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio.** Ariel Ciencia. Barcelona. 586 págs.
- 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.
- Ergueta, P; Gómez, H. (eds.) 1997. **Directorio de Áreas Protegidas de Bolivia.** CDC Bolivia. 186 págs.
- INRENA, Sociedad Zoológica de Francfort, The Nature Conservancy, CDC-UNALM. 2005. **Hacia un Sistema de Monitoreo Ambiental Remoto Estandarizado para el SINANPE.** Lima, Perú. 20 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.
- Killeen, T.; V. Calderon; L. Soria; B. Quezada; M. Steininger; G. Harper; L. Solórzano y J. Tucker. 2007. **Thirty Years of Land-cover Change in Bolivia.** Ambio, Royal Swedish Academy of Sciences. Vol. 36, N°7, 2007, págs. 600-606.
- Lillesand, T., Kiefer, R., 1994. **Remote Sensing and Image Interpretation.** John Wiley, Inc. New York. 749 págs.
- MDSP-VMARNDP. 2000. **Memoria Descriptiva y Georeferenciada de las Áreas Protegidas y Reservas Forestales de Bolivia.** La Paz-Bolivia. 52 págs.
- MDSP-UOT. 2002. Fuente para: **Información base y Límites Políticos.**
- Miranda, C., Oetting I.. 2000. **Experiencias de Monitoreo Socio – Ambiental en Reservas de la Biósfera y otras Áreas Protegidas en la Amazonía.** La Paz. 432 págs.
- University of Maryland, Geography Department. 1998. **NASA Landsat Pathfinder Humid Tropical Deforestation Project.**

Anexos

Anexo 1

Mapa de Cobertura del suelo y cambios en la cobertura dentro de las Áreas Protegidas

Anexo 2

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 bajos 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.

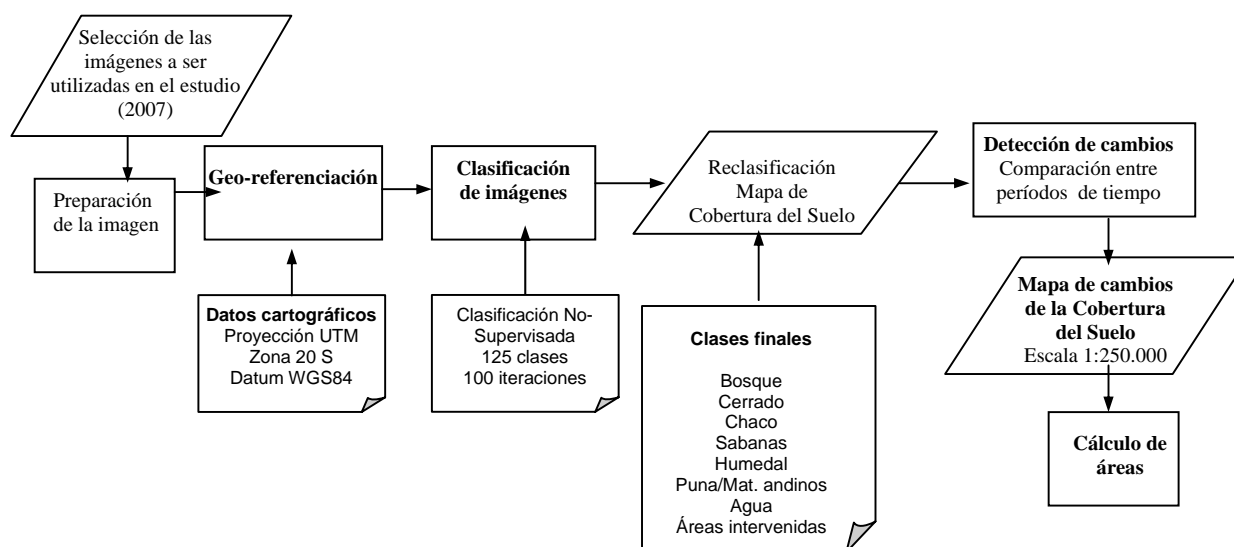
Anexo 3

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 efectivas que la banda TM3 para caminos, o otros 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 sobretudo 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 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.

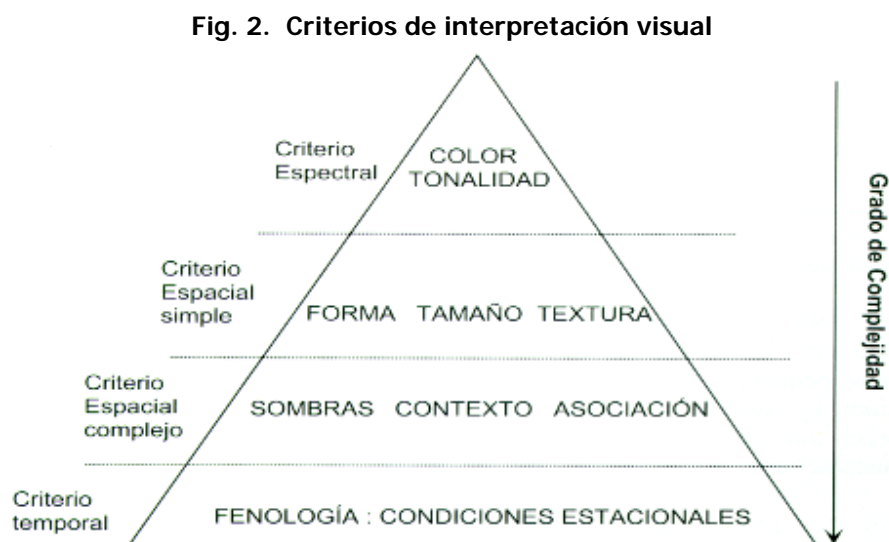
La corrección geométrica consiste en realizar cambios en la posición que ocupan los píxeles de la imagen, es decir, se le asigna a la imagen un sistema de proyección (Chuvienco, 2002). En este caso se realizaron Correcciones no paramétricas (también llamadas correcciones de escena), las cuales tienen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

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 Áreas Protegidas, 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 áreas Protegidas 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 cada Área Protegida.

Anexo 4

Sistema de Información Geográfica que incorpora la información del cambio en la cobertura del suelo dentro de las Áreas Protegidas

El Sistema de Información Geográfica (SIG) está diseñado de acuerdo a los fines del estudio, el formato es bastante general, ya que cada usuario realizará las consultas que sean requeridas. Está conformado básicamente por la información generada en cuanto a la cobertura y cambios en la cobertura del suelo (en formato GRID).

Los mapas han sido elaborados en el programa ArcGIS versión 9 (formato MXD), incorporando cobertura de Áreas Protegidas y Límites departamentales. Cada cobertura incluye metadatos, que contienen información como fuente, formato, proyección, atributos/clases.

Anexo 5

Información en formato digital

El Disco que acompaña este informe contiene información digital organizada de la siguiente manera:

Documentos

- **Informe**

Documentos en formato DOC y PDF, del Informe Técnico Final

- **Figuras**

Figuras en formato JPG, de los Mapas elaborados en ArcGIS, en base a la información generada

- **Tablas**

Archivo en formato XLS, mostrando la información generada de la cobertura y cambios en las Áreas Protegidas en superficies y porcentaje para diferentes análisis.

Información geográfica

- **Mapas_ArcGIS**

Proyectos en formato MXD de ArcGIS 9, de los Mapas que han sido elaborados

- **Cambio de cobertura**

Información Raster, en formato GRID y con metadatos, sobre la Cobertura del suelo y cambios de cobertura hasta 2007, para las Áreas Protegidas del SNAP y algunas áreas departamentales.

La información es presentada en Proyección UTM Zona 20 Sur Datum y Esferoide WGS 84, como fue realizado el mosaico final de las imágenes Landsat.

Este Mosaico ha sido transformado a la proyección Cónica Conforme de Lambert, por ser este sistema el más usado cuando se trata de coberturas de todo el país, ya que nos permite generar cifras, y mantener las proporciones geográficas. Los parámetros utilizados son los que se utilizan en las coberturas oficiales de Bolivia: Meridiano Central 64° al Oeste de Greenwich, Paralelos estándar 11° 30´ y 21° 30´ de latitud Sur, Latitud de Origen 24°, Falso Este 1.000.000.

- **Shapefiles**

Coberturas, en formato Shapefile y con sus metadatos respectivos.

Toda la información está en Proyección UTM Zona 20 Sur Datum y Esferoide WGS 84.