

# Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra para el Depto. de Santa Cruz - 2005

Memoria Explicativa



## Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado

en Convenio de Cooperación Técnica y Científica con



## Prefectura del Departamento de Santa Cruz

Secretaría Departamental de Desarrollo Sostenible  
Dirección de Ordenamiento Territorial y Cuencas – PLUS

Santa Cruz, Julio de 2007

## Índice

### *Presentación*

#### **CAPITULO I Aspectos Generales**

- 1.1. Antecedentes
- 1.2. Metodología
- 1.3. Área de Estudio

#### **CAPITULO II Definiciones**

- 2.1 Cobertura y Uso de la Tierra
- 2.2 Clases de Cobertura y Uso
- 2.3 Descripción de las Clases

#### **CAPITULO III Corroboración de Información**

- 3.1 Definición

Consideraciones Generales

### ***Bibliografía***

#### **Anexos**

Superficie de Unidades de Cobertura y Uso Actual de la Tierra para el Departamento de Santa Cruz – 2005

Mapas de Cobertura y Uso de la Tierra por Provincias

Mapas de Cobertura y Uso de la Tierra por Municipios

Personal participante en el Proyecto

Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado

Prefectura del Departamento

## ***Presentación***

La región oriental de Bolivia ha sufrido grandes cambios en el uso de la tierra debido a que ha experimentado un crecimiento económico impresionante en las últimas tres décadas. Un total de 4.5 millones de hectáreas han sido convertidas de un hábitat natural a áreas antrópicas desde el inicio del desarrollo moderno de la producción agrícola, pecuaria y forestal en la década de los 60, en todo el país (Killeen, 2005).

Durante los últimos 30 años, en consecuencia del crecimiento económico en el oriente boliviano, ha habido una importante migración interna desde los departamentos altiplánicos (La Paz, Oruro y Potosí) hasta los departamentos de las tierras bajas (Santa Cruz, Beni y Pando).

El destino principal para los migrantes es el departamento de Santa Cruz, cuya población está creciendo a aproximadamente 5% cada año (Killeen, 2005).

Como la actividad económica principal de Santa Cruz es la agricultura, este influjo de gente ha tenido un impacto importante en las áreas naturales del departamento. Se estima que se ha convertido cerca de 39.000 km<sup>2</sup> (o 10%) de las áreas naturales para uso agrícola entre 1952 y 2004.

No hay duda que la migración hacia Santa Cruz y la conversión de áreas naturales continuará en las próximas décadas. Sin embargo, es importante manejar estos procesos para asegurar el máximo beneficio para la población boliviana, pero para poder formular políticas públicas adecuadas se necesita más información sobre los cambios en la cobertura vegetal y el uso de la tierra.

Un estudio de Cobertura y Uso de la Tierra genera información sobre el destino que se está dando a la tierra teniendo base en los diferentes actores socio económicos que la habitan en el periodo elegido, tornándose un sistema de información esencial para el ordenamiento del territorio y como línea base para un monitoreo de cambios de usos futuros para el área de estudio.

La Prefectura del Departamento de Santa Cruz tiene como uno de sus principales objetivos la elaboración del *Plan Departamental de Ordenamiento Territorial*, que se describe como un proceso de organización del uso del suelo y la ocupación del territorio en función de sus características biofísicas, socioeconómicas, culturales y político institucionales que presenta un determinado territorio, con la finalidad de promover el desarrollo sostenible del mismo” (Guía Metodológica, 2001).

Para este fin necesita información de diferentes temas en lo biofísico y encarga al Museo de Historia Natural NKM a través de un convenio de Cooperación Técnica y Científica, la elaboración del Mapa de Cobertura y Uso Actual del Suelo, en base a imágenes satelitales del año 2005.

Esta información, que hará parte del diagnóstico integral del Departamento de Santa Cruz, podrá ser utilizada en diferentes análisis contribuyendo a una evaluación real del territorio y consecuentemente a la formulación del Plan Departamental de Ordenamiento Territorial. Además de que servirá como línea base para futuros análisis de cambio de uso de la tierra.

---

## **CAPITULO I**

### **Aspectos Generales**

#### **1.1 Antecedentes**

Antes de la promulgación de la Ley de Descentralización Administrativa, La Ex – CORDECRUZ, realizó los estudios del Plan de uso del Suelo del Departamento de Santa Cruz, en el periodo 1991-1995, el cual se lo consolida mediante el Decreto Supremo 24124 del 21 de septiembre del 1995. Este decreto fue elevado a rango de Ley de la República N° 2553 el 4 de noviembre del 2003.

La Resolución Suprema N° 217075 del 5 de junio de 1997 y el Plan General de Desarrollo Económico y Social (PGDES) 1997-2002, señalan que las prefecturas deben formular sus Planes Departamentales de Ordenamiento Territorial (PDOT) con el objetivo de organizar el uso del suelo y la ocupación del territorio.

La Prefectura de Santa Cruz en junio del 2005, pone en vigencia su nueva estructura orgánica, creando la Unidad del Ordenamiento Territorial, Cuencas y Plan de Uso del Suelo, posteriormente elevada a nivel de Dirección, como instancia técnica encargada del Ordenamiento Territorial y el Manejo de Cuencas del Departamento de Santa Cruz, en reemplazo de la Ex UTD-PLUS.

El Plan Departamental de Desarrollo Económico y Social (PDDES) formulado por la Prefectura del Departamento 2006-2010, contempla en su política y estrategia para un desarrollo sostenible el estudio y formulación del Plan Departamental de Ordenamiento Territorial de Santa Cruz, instrumento técnico, social, económico y normativo.

En el mes de mayo de 2006 se firmó la Adenda al Convenio de Cooperación Científica y Técnica suscrito entre la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno y la Prefectura del Departamento, en que se establece que la Universidad, por intermedio del Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado realizará el *Estudio de la Cobertura y Uso Actual de la Tierra para toda la superficie del Departamento de Santa Cruz*, en base a imágenes satelitales.

En esta Adenda queda establecido que los alcances del estudio y la metodología serán definidos por ambas instituciones y que el estudio sería acompañado por el equipo técnico de la Dirección de Ordenamiento Territorial, Cuencas y Plan de Uso del Suelo dependiente de la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Prefectura del Departamento, siendo el Museo de Historia Natural NKM, más específicamente su Departamento de Geografía e Informática, el responsable del equipo de profesionales con la experiencia necesaria en el manejo y clasificación de imágenes de satélite que permita cumplir eficientemente con el estudio y la elaboración del mapa.

## **Objetivos**

*Elaborar el Mapa de la Cobertura Vegetal y Uso Actual de la Tierra para el Departamento de Santa Cruz, a través de imágenes satelitales, para el año 2005.*

## **1.2 Metodología**

### **Tratamiento de las Imágenes Satelitales para definir Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra**

El mapa de cobertura vegetal y uso del suelo generado, es un modelo producido por la interpretación digital de imágenes Landsat 5 TM (Ver anexo). A seguir se describe los trabajos previos a la clasificación digital de las imágenes, en el programa ERDAS Imagine V 9.0.

#### **1.2.1 Preparación de la imagen**

##### **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 (Infrarojo 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 (Infrarojo 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 (Infrarojo 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.

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 y 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.

#### Geo-referenciación (Corrección geométrica)

Una buena rectificación de las imágenes de satélite es crucial para lograr la mayor precisión geométrica para realizar análisis, como en este caso para identificación de cobertura y uso 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. Las imágenes fueron georectificadas estableciéndose puntos de control en píxeles que tienen similitudes de reflectancia comparándola con imágenes orthorectificadas o de referencia proporcionadas por la NASA que fueron distribuidas por el Departamento de Geografía de la Universidad de Maryland (ver: <http://glcfapp.umiacs.umd.edu>).

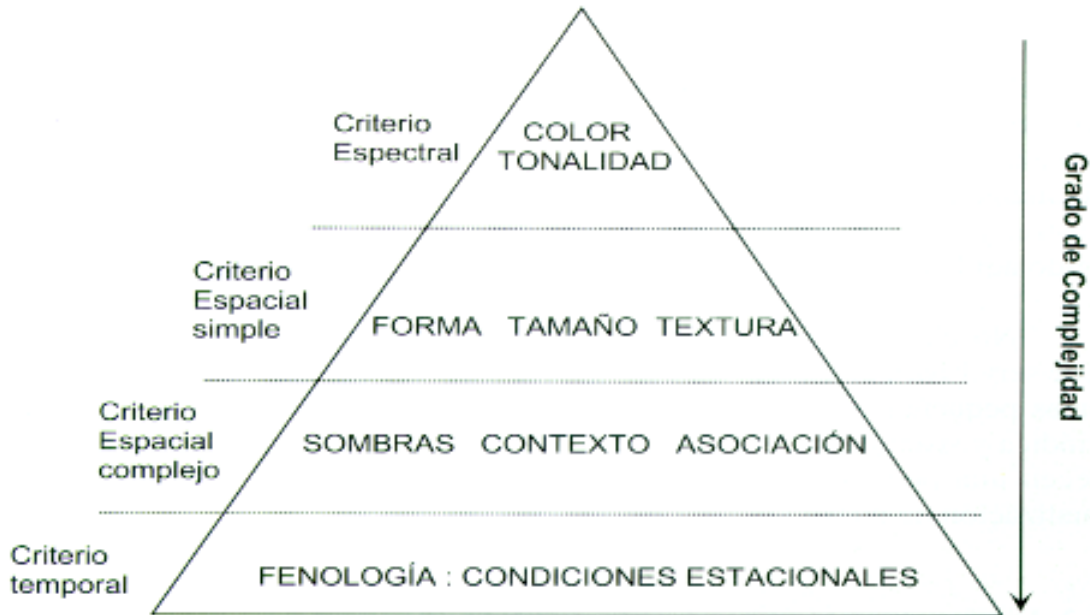
Tanto la imagen de referencia como las imágenes a ser georeferenciadas fueron trabajadas con la proyección UTM, zona 20 Sur, Datum WGS84, teniendo como unidad de medida al metro. Para la geo-referenciación se utilizó la opción RASTER/GEOMETRIC CORRECTION, seleccionando el modelo POLYNOMIAL.

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

#### 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).

Fig. 2. Criterios de interpretación visual



Fuente: Chuvieco, 2002.

### Clasificación digital

Como fruto 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 y Uso Actual de la Tierra. 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).

### 1.2.2 El procesamiento de las imágenes

El Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra 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 25 iteraciones; estos parámetros dieron una clasificación muy similar a la imagen original.

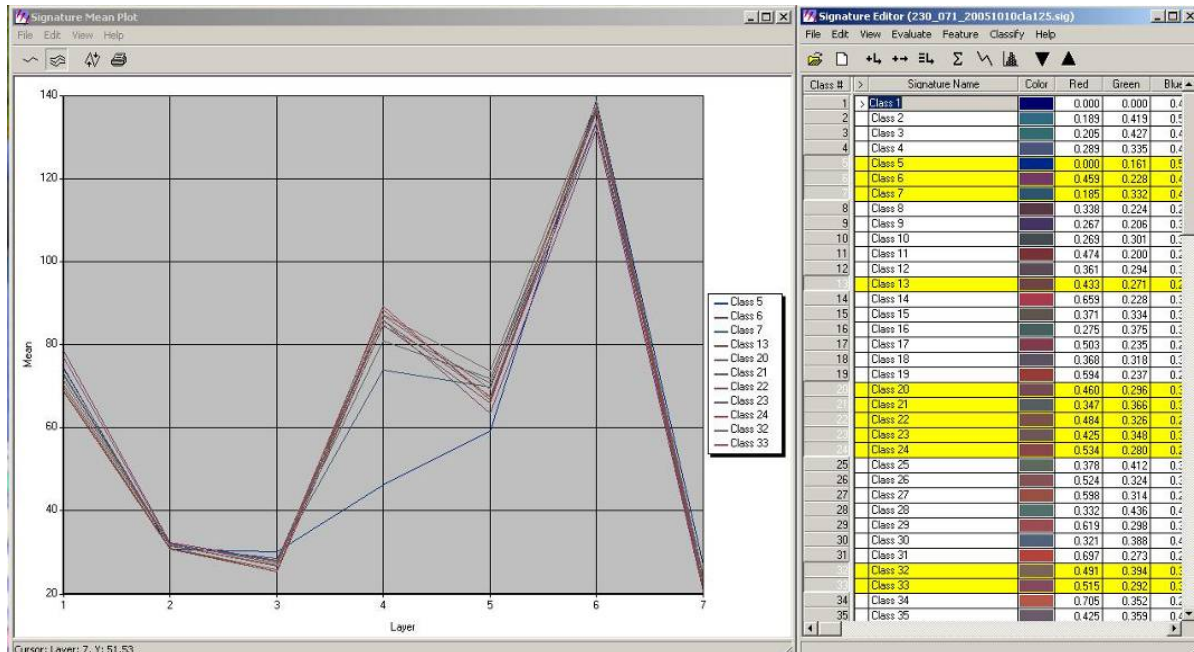
De esta manera, las imágenes Landsat 5 han sido objeto de una clasificación *no-supervisada*, la cual agrupa a los píxeles en 125 clases distintas, las cuales son generadas basándose en agrupaciones (clusters) mediante iteraciones sucesivas que maximizan la distancia entre los promedios de cada grupo, mientras se minimiza la varianza de cada uno de ellos; se seleccionaron 25 iteraciones para llegar a un nivel del 95% de convergencia entre las últimas dos iteraciones. El procesamiento es realizado en base a los valores del Número Digital (DN según sus sigla en inglés), que es un número entre 0 y 255 (el número potencial máximo de combinaciones en un archivo de 8 bits) donde un valor alto representa una radiación mayor en la banda espectral correspondiente. No se puede combinar el procesamiento de distintas imágenes sin transformar los números DN a valores espectrales ( $\mu m$ ), porque las características atmosféricas y el ángulo del sol son variables; entonces es necesario clasificar cada imagen por separado y hacer un mosaico de los diferentes productos.

Cualquier clasificación está sujeta a la introducción de errores debido a los fenómenos naturales y accidentes topográficos. Siempre existen clases compuestas de píxeles espectralmente similares, pero que pertenecen a distintas unidades. Las unidades con mayor variabilidad espectral también son aquellas cuyos píxeles podrían ser confundidos en su clasificación. La ventaja principal de realizar una clasificación no supervisada – con un número muy grande de clases – es que permite una división precisa y objetiva de esta variabilidad, identificando los píxeles que claramente pertenecen a una unidad natural y aquellos que pueden pertenecer a dos (o más) diferentes unidades. Una clasificación no supervisada con numerosas clases mantiene al mínimo la cantidad de píxeles de una “unidad dudosa”.

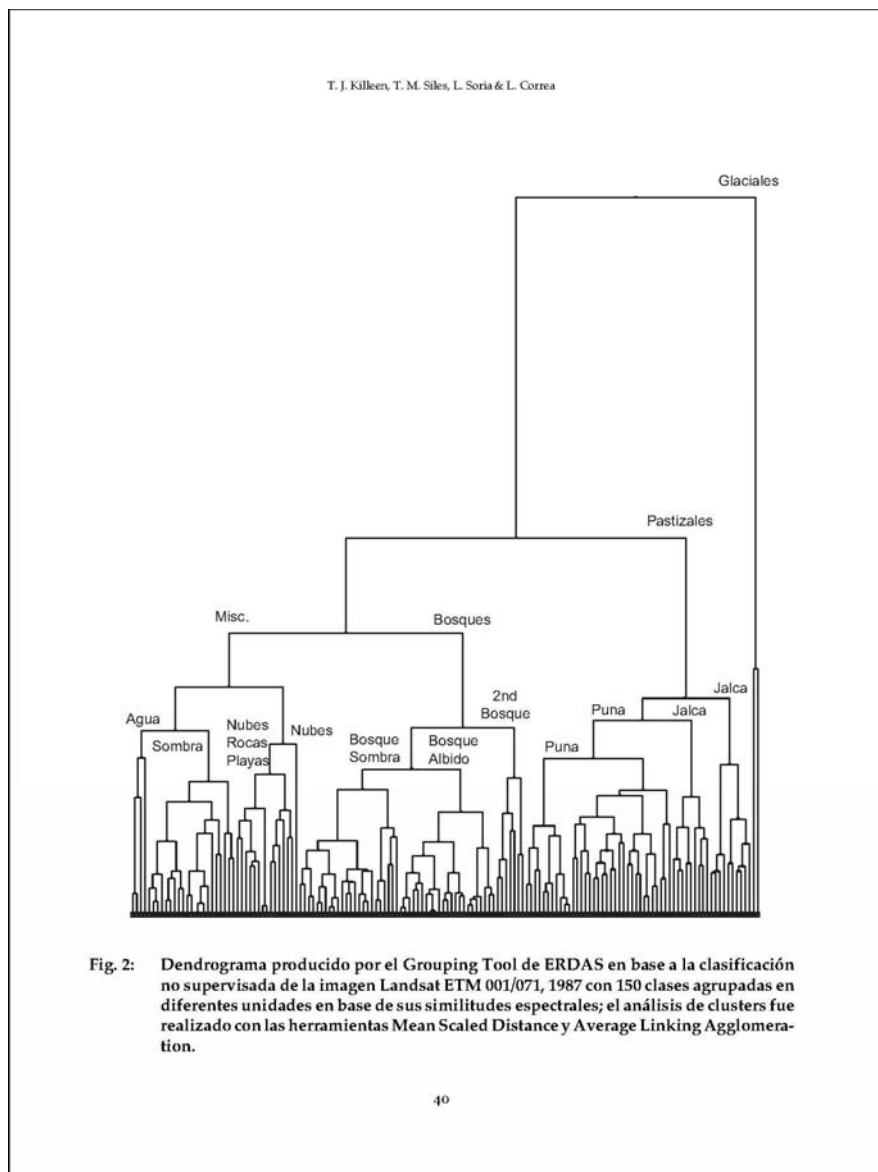
A pesar de todas las facilidades para distinguir a las clases compuestas de píxeles mixtos, se necesitó realizar otros procedimientos, uno de ellos y el más efectivo para resolver el problema de clasificación de píxeles es reducir el universo sujeto a la clasificación, utilizando criterios espaciales y espectrales. El objetivo es excluir a los valores de reflectancia extremos para que la operación estadística funcione sobre un número reducido de píxeles, permitiendo la creación de clases con un mayor nivel de resolución.

Primero se separan las unidades menos problemáticas, como las de agua y nubes, agrupándolas en las clases correspondientes. Luego se identifican y se agrupan clases claramente representativas de ciertas unidades generales, como bosque primario, sabanas, playas, bosques secundarios y áreas deforestadas. Para agruparlas, el programa ERDAS genera un archivo de firma espectral (Spectral Signature) que proporciona el promedio de los píxeles de cada grupo, siendo utilizado como una herramienta para comparar las diferentes clases y sus similitudes (Figura 1).

Fig. 1 Signaturas espectrales



En la versión de ERDAS (V9) el programa proporciona una aplicación de agrupación (llamada Grouping Tool) que contiene una serie de herramientas estadísticas y gráficas que facilitan la agrupación objetiva de las diferentes clases mediante un análisis de agrupación (dendrograma), basándose en distancias euclidianas. Esta aplicación es de gran utilidad porque permite identificar rápidamente a las clases con características similares y también las que son espectralmente diferentes, pero que representan diferentes manifestaciones del mismo hábitat (Figuras 2)



A pesar de todas las facilidades para distinguir a las clases compuestas de píxeles mixtos, se necesitará realizar otros procedimientos, uno de ellos y el más efectivo para resolver el problema de clasificación de píxeles es reducir el universo sujeto a la clasificación, utilizando criterios espaciales y espectrales. El objetivo es excluir a los valores de reflectancia extremos para que la operación estadística funcione sobre un número reducido de píxeles, permitiendo la creación de clases con un mayor nivel de resolución.

### **Asignación de clases**

En todos los paisajes o unidades ecológicas existen píxeles aislados que se clasifican idiosincrásicamente, debido a factores espectrales especiales, por ejemplo, un árbol emergente que proyecta una sombra densa o un claro aislado pueden tener una reflexión similar a una ladera con albedo fuerte. Estos artefactos son el resultado de fenómenos temporales (de hora) y no merecen ser reconocidos en un mapa de cobertura – por lo menos a la escala del presente y no aportan en la clasificación digital. Se eliminará la mayor parte de estos píxeles mediante un filtro digital del programa ERDAS; el filtro es un algoritmo matemático donde se aplica la regla de la “mayoría de los píxeles cercanos” o del vecino más cercano (nearest neighbor). Esta función evaluará a cada píxel y si la mayoría de los píxeles colindantes corresponden a una sola clase, se aplica esta misma clase al píxel en el medio.

La Tabla 1 muestra las diferentes características espectrales de las principales clases digitales. A pesar del procedimiento aplicado para asignar píxeles a clases mediante un proceso digital estadístico no es posible lograr la elaboración de un mapa de cobertura solamente en base a la clasificación digital de imágenes. Aunque es posible identificar clases o grupos de clases, compuestos principalmente por píxeles de una de estas unidades, existe mucha mezcla entre ciertas clases debido a la variabilidad natural de los píxeles en cada una de estas unidades. Siempre existirán píxeles que pertenecen a unidades vegetales distintas que son casi idénticas en sus características espectrales.

La Tabla 2 muestra la relación entre los grupos principales y las tendencias de mezcla entre estas clases. Si se presenta este caso, los píxeles serán asignados a la unidad correcta mediante criterios objetivos.

**Tabla 1:** Características espectrales de los grupos de clases principales producidos por una clasificación no supervisada con 125 diferentes grupos. Los códigos se refieren a la intensidad de la reflexión en cada una de las bandas: B = baja, M = media, A = alta.

**Banda espectral Landsat TM/ETM**

Clase de cobertura vegetal	1	2	3	4	5	7
Bosque alto de tierras bien drenadas	MB	MB	MB	M	MB	B
Bosques de tierras inundadas	MB	M	MB	M	M	MB
Bosques secundarios	M	M	MB	A	A	A
Bosques secundarios inundados	B	M	MB	A	M	MB
Bosques húmedos montanos	MB	MB	B	A	M	MB
Laderas con albedo fuerte	MB	M	MB	A	M	M
Laderas con sombras	MB	MB	B	M	B	B
Bosques secundarios montanos	M	M	M	A	M	MB
Laderas albedo fuerte	M	M	M	A	M	M
Laderas con sombra	M	M	M	M	M	M
Bosques andinos secos	MB	MB	MB	M	M	M
Laderas con sombra	MB	MB	MB	B	B	MB
Sabanas de tierras bajas	M	M	M	M	M	M
Humedales de tierras bajas (verde)	MB	M	M	A	MA	M
Matorral inundado de tierras bajas	MB	M	MB	M	M	MB
Laderas con sombra	MA	MA	MA	MB	MB	M
Con cicatrices de fuego	A	A	A	MA	MA	A
Afloramientos de rocas	A	A	A	MA	A	MA
Agua, ríos & lagos blancos	A	MA	M	B	B	BB
Agua, lagos negros de tierras bajas	MA	AA	AA	BB	BB	BB
Tierras agrícolas	MA	MA	MA	MA	A	MA
Playas	A	A	A	MA	A	MA
Nubes	AA	AA	AA	AA	AA	AA
Sombra profunda	B	B	B	B	B	BB

**Tabla 2: Principales unidades donde existe confusión en la clasificación entre unidades de las tierras bajas y de las interandinas**

Tierras bajas	Valles interandinos
Bosque húmedo	Bosque montano
Bosque inundado	Bosque de laderas con sombra
Bosque secundario	Bosque de laderas con albido fuerte
Sabana tropical	Pastizal interandino

Las 125 clases resultantes fueron agrupadas, a través del análisis visual, espacial y espectral ya descrito, en 11 clases de cobertura y 11 clases de uso del suelo que fueron observados en la imagen sin clasificar, 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.

Una vez terminado con el procesamiento de las imágenes Landsat 5 TM entregadas por la Prefectura, y su respectiva corroboración, se procedió a recortar el mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra por provincias y municipios para una mejor manipulación de la información generada. (Ver anexos)

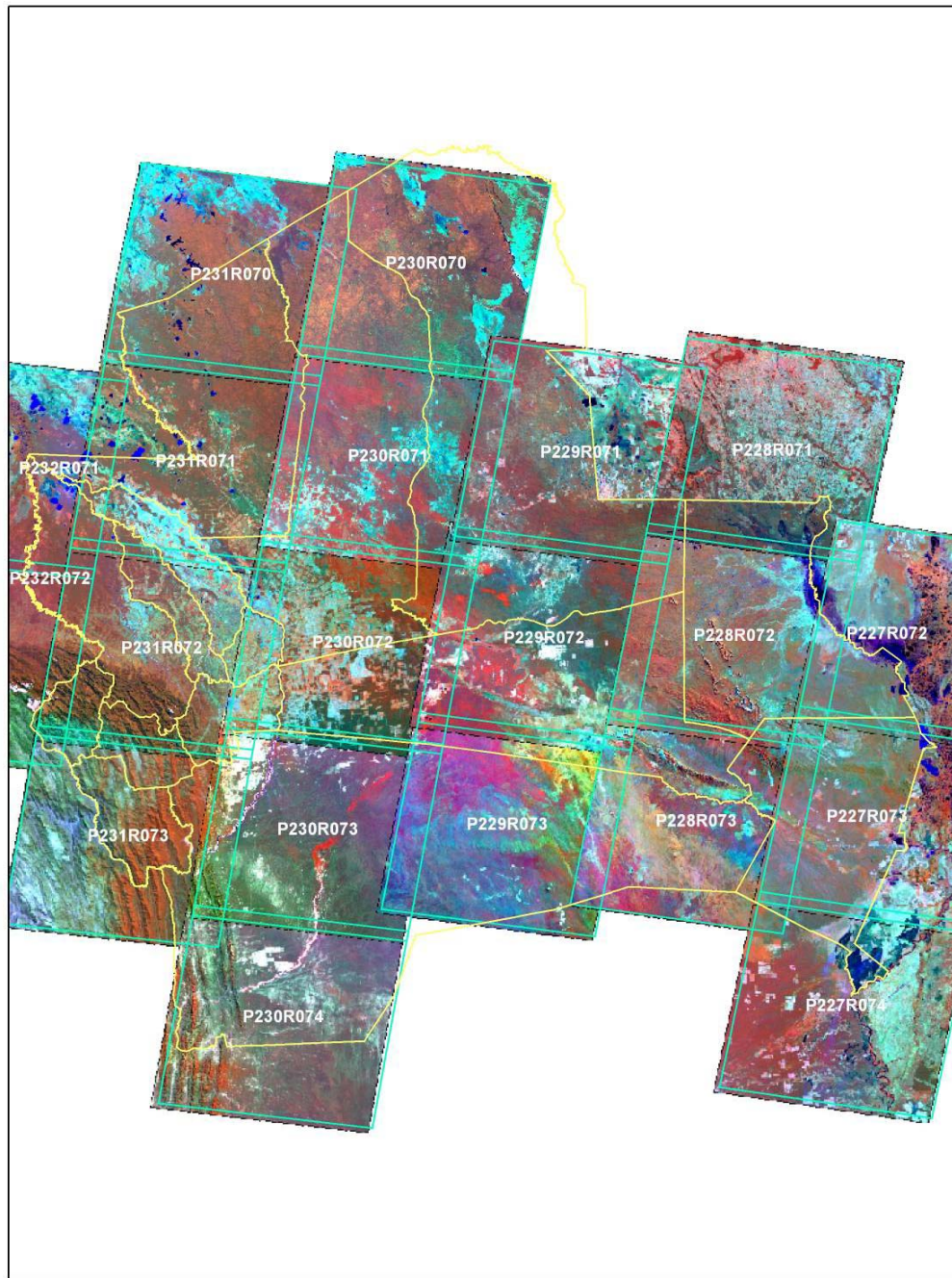
### 1.3 Área de Estudio

El área de estudio corresponde al Departamento de Santa Cruz (Fig.1) y esta cubierta por 20 escenas de imágenes Landsat 5 TM del año 2005, entregadas por la Dirección de Ordenamiento Territorial y Cuencas, cuya identificación (Path/Row) se encuentra listada abajo, con sus respectivas fechas:

<i>Path/ Row</i>	<i>Fecha</i>	<i>Path/ Row</i>	<i>Fecha</i>
227/72	02.08.2005	230/71	10.10.2005
227/73	02.08.2005	230/72	10.10.2005
227/74	02.08.2005	230/73	23.08.2005
228/71	08.07.2005	230/74	23.08.2005
228/72	06.06.2005	231/70	29.07.2005
228/73	08.07.2005	231/71	29.07.2005
229/71	31.07.2005	231/72	13.07.2005
229/72	17.09.2005	231/73	13.07.2005
229/73	31.07.2005	232/71	21.08.2005
230/70	22.07.2005	232/72	21.08.2005

Se hace notar que no ha sido posible conseguir todas las imágenes de la misma fecha (resolución temporal) y las fechas utilizadas son las que, dentro de la disponibilidad que había, mejor calidad y menos nubosidad presentaran.

Las escenas completas previstas para la elaboración del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo fueron seleccionadas por su localización en el Departamento de Santa Cruz, La siguiente representación esquemática muestra la cobertura del Departamento por las escenas Landsat 5 TM .



**Fig.1:** Path/Row de las imágenes Landsat utilizadas en la preparación del Mapa de Cobertura y Uso del Suelo para el Departamento de Santa Cruz – 2005.

## **CAPITULO II**

### **Definiciones**

#### **2.1 Cobertura y Uso de la Tierra**

La tierra no debe ser considerada simplemente como el suelo y la superficie topográfica sino que abarca muchos otros elementos como los depósitos superficiales, los recursos de agua y clima y también las comunidades animales y vegetales que se han desarrollado como resultado de la interacción de esas condiciones físicas. Los resultados de las actividades humanas, reflejadas en cambios en la cobertura vegetativa o en las estructuras, también son vistas como características de la tierra. Cambiando uno de los factores tal como el uso de la tierra se tendrá un impacto sobre otros factores como la flora y la fauna, los suelos, la distribución superficial del agua y el clima. Los cambios en esos factores se pueden fácilmente explicar en razón de la ecodinámica del sistema y la importancia de sus relaciones en la planificación y el manejo de los recursos de la tierra es evidente (FAO/UNEP, 2000).

Por *cobertura* del suelo entendemos el tipo de ocupación existente sobre el, ya sea esta vegetal, cultivos agrícolas o espacios urbanos.

El *uso de la tierra* está caracterizado por los arreglos, actividades e insumos que el hombre emprende en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir, cambiarla o mantenerla. Esta definición establece un enlace directo entre la cobertura de la tierra y las acciones del hombre en su medio ambiente.

Otra manera de conceptualizar lo mismo sería, que el uso "se refiere a la actividad humana presente al momento de hacer la observación y/o a la descripción de sus características en una época determinada sin tomar en consideración su potencial o uso futuro" (Superintendencia agraria, 2001).

El conocimiento de la cobertura y uso actual de la tierra es una información básica imprescindible para el análisis y elaboración de diferentes planes de desarrollo en que los recursos naturales, un capital importante del país, están involucrados.

## **2.2 Clases de Cobertura y Uso**

Resultado del análisis de las imágenes, se identifican 11 clases de cobertura y 11 clases de uso que se listan abajo:

### **Cobertura de la Tierra**

1. Sabana
2. No bosque
3. Bosque Tucumano
4. Bosque amazónico
5. Bosque Chiquitano
6. Bosque montano
7. Valles secos interandinos
8. Humedales
9. Lagunas
10. Ríos
11. Cuerpos de agua secos

### **Uso de la tierra**

1. Agricultura manual en pequeña escala
2. Agricultura manual excedentaria
3. Agricultura tradicional bajo riego
4. Agricultura mecanizada a escala empresarial
5. Agricultura mecanizada a escala mediana
6. Agricultura extensiva bajo riego
7. Ganadería con pastos cultivados
8. Ganadería en sabanas
9. Área urbana
10. Ganadería de ramoneo (B. deciduo montano y B. Chaqueño)
11. Barbecho

## **2.3 Descripción de las clases**

### **Cobertura de la Tierra**

Las descripciones clases fueron extractadas del Guía de Árboles de Bolivia.

1. **Sabana.** Grandes extensiones planas de pasturas naturales.
2. **No bosque.** Afloramientos rocosos o arena y lechos de cuerpos de agua desprovista casi completamente de vegetación.
3. **Bosque Tucumano.** Es un bosque semi-húmedo que se encuentra en la Cordillera Oriental, desde los 800 m hasta 3000 m. Presenta valles profundos con suelos más o menos fértiles. El clima se caracteriza por 3-5 meses secos con precipitaciones entre 1000 y 1700 mm por año.
4. **Bosque amazónico.** Este tipo de bosque en las provincias Ñuflo de Chavez y Velasco está situado en una llanura ondulada a plana con una altitud entre 100 y 250 m, con algunas colinas de 100 m de altitud. El clima es húmedo con una época de 1-3 meses secos y precipitaciones entre 1800 y 2200 mm por año. La temperatura promedio anual oscila entre 25° y 27°C.
5. **Bosque Chiquitano.** Esta formación boscosa tiene una geomorfología que varía desde planicies onduladas hasta colinas con valles amplios y llanura aluvial. Su altitud varía desde 300 a 1200 m. Tiene un clima sub-húmedo con unos 3-5 meses secos y una precipitación promedio anual entre 100 y 1500 mm. La temperatura promedio anual es de alrededor de 23°C.
6. **Bosque montano.** Este bosque está sobre cadenas montañosas, laderas anchas y valles estrechos. La altitud varía entre los 400-500 m en pie de monte hasta los 3200 m. La precipitación está por encima de los 5000 mm al año. La temperatura promedio anual está entre 10-14 °C.
7. **Valles secos interandinos.** Es un conjunto de bosques secos, chaparrales, matorrales y tierras erosionadas. Presentan altitudes entre 500-3300m. Presenta una época seca entre 6 a 8 meses; el promedio anual de precipitación está entre 500 a 600 mm. Las temperaturas máximas promedio llegan a 28°C y las mínimas a 2°C.
8. **Humedales.** Son todas las áreas que están sujetas a inundaciones en algunas épocas del año o permanentemente.
9. **Lagunas.** Extensión natural de agua.
10. **Ríos.** Corriente natural de agua
11. **Cuerpos de agua secos.** Leche seco de un río o una laguna

## Uso de la tierra

1. **Agricultura manual en pequeña escala.** Esta clase incluye áreas pequeñas donde se practica una agricultura de subsistencia, la cual está complementada por la cría de ganado y aves de corral en pequeña escala. Sus parcelas de cultivo pocas veces exceden a una hectárea de extensión. Su alimentación depende en gran medida, como fuente de proteína, de la caza y pesca aprovechando la vida silvestre de los bosques y sistemas acuáticos.
2. **Agricultura manual excedentaria.** Practican una agricultura tradicional de consumo propio y el excedente de sus cultivos lo venden o lo intercambian con otros productos. Las propiedades suelen ser, en extensión, de tamaño mediano.
3. **Agricultura tradicional bajo riego.** Este tipo de agricultura es practicada en la región de los valles, en las provincias Vallegrande, Caballero y Florida. Las formas de riego utilizados son: por aspersión, por surcos y por goteo. Aunque en algunas áreas se siembra con las lluvias.
4. **Agricultura mecanizada a escala empresarial.** Este grupo representa campos agrícolas muy grandes de hasta aproximadamente 20.000 hectáreas de extensión. En algunas áreas de la zona de Expansión, las propiedades cuentan con cordones de vegetación natural que funcionan como cortinas rompevientos. Se dedican casi exclusivamente a la producción de soya y otros cultivos como ser trigo, sorgo, caña de azúcar y algodón.
5. **Agricultura mecanizada a escala mediana.** Son productores con propiedades privadas de tamaño pequeño (< 10 ha.) a mediano (< 500 ha.), aunque se incluyen algunas propiedades de hasta ~ 5.000 ha. Tienen sistemas productivos mixtos. La mayoría está orientado a la producción para el mercado nacional, produciendo una gama amplia de productos agropecuarios.
6. **Agricultura extensiva bajo riego.** Esta agricultura es practicada por los productores que producen a escala empresarial. Utilizan el riego por aspersión. Este tipo de agricultura es fácil de reconocer por la forma circular del área de cultivo.

7. **Ganadería con pastos cultivados.** Esta ganadería es realizada en áreas que han sido deforestadas y donde posteriormente se han cultivado pastos.
8. **Ganadería en sabanas.** Denominada como ganadería extensiva, utiliza áreas de pasturas naturales, aunque en muchos lugares se han introducido pastos como la braquiaria, para mejorar y aumentar el rendimiento en la producción.
9. **Área Urbana** – Suelo destinado a ciudades y centros poblados.
10. **Ganadería de ramoneo en Bosque Chaqueño y Bosque deciduo montano.** También denominada como ganadería extensiva debido a que utilizan la vegetación chaparral no muy alta como alimento principal para el ganado. Esta práctica es realizada en los bosques chaqueños y bosque deciduo montano.
11. **Barbecho.** Áreas que en algún momento fueron utilizadas para la agricultura o ganadería, pero que en el momento se encuentran en descanso o fueron abandonadas.

### ***CAPITULO III***

#### **3. Corroboración de la clasificación de uso de la tierra**

Para la corroboración de la información proveniente de la clasificación digital y de la redacción final de las clases, debido a la extensión del Departamento de Santa Cruz y la consecuente dificultad logística y económica para desarrollar un trabajo de campo, se ha decidido por corroboración indirecta de la información.

Este método consiste en trabajo de gabinete, y se ha desarrollado a través de consulta a diferentes asociaciones y federaciones agropecuarias, en forma de **Talleres Institucionales de Trabajo**.

### **3.1 Talleres Institucionales**

Para el contacto más directo y efectivo con los técnicos de las diferentes asociaciones y federaciones, se ha decidido por hacer talleres de trabajo. Se han realizado talleres con las siguientes:

Asociación de Productores de Oleaginosas – ANAPO  
Asociación de productores de Maíz y Sorgo - PROMASOR  
Asociación Departamental de Productores de Algodón - ADEPA  
Federación de Cañeros - FEDECAÑA  
Asociación de Cañeros - ASOCAÑA  
Asociación de Productores de Arroz - ASPAR  
Federación de Productores de Leche – FEDEPLE  
Federación de Ganaderos de Santa Cruz – FEGASACRUZ

La metodología utilizada fue la de talleres de trabajo donde los técnicos responsables en cada una de las instituciones analizaron impresiones de mosaico de imágenes que conforman las provincias del departamento de Santa Cruz así como el producto de la clasificación de las imágenes en forma de mapa de cobertura y uso de la tierra. (Fig. 2 y 3)

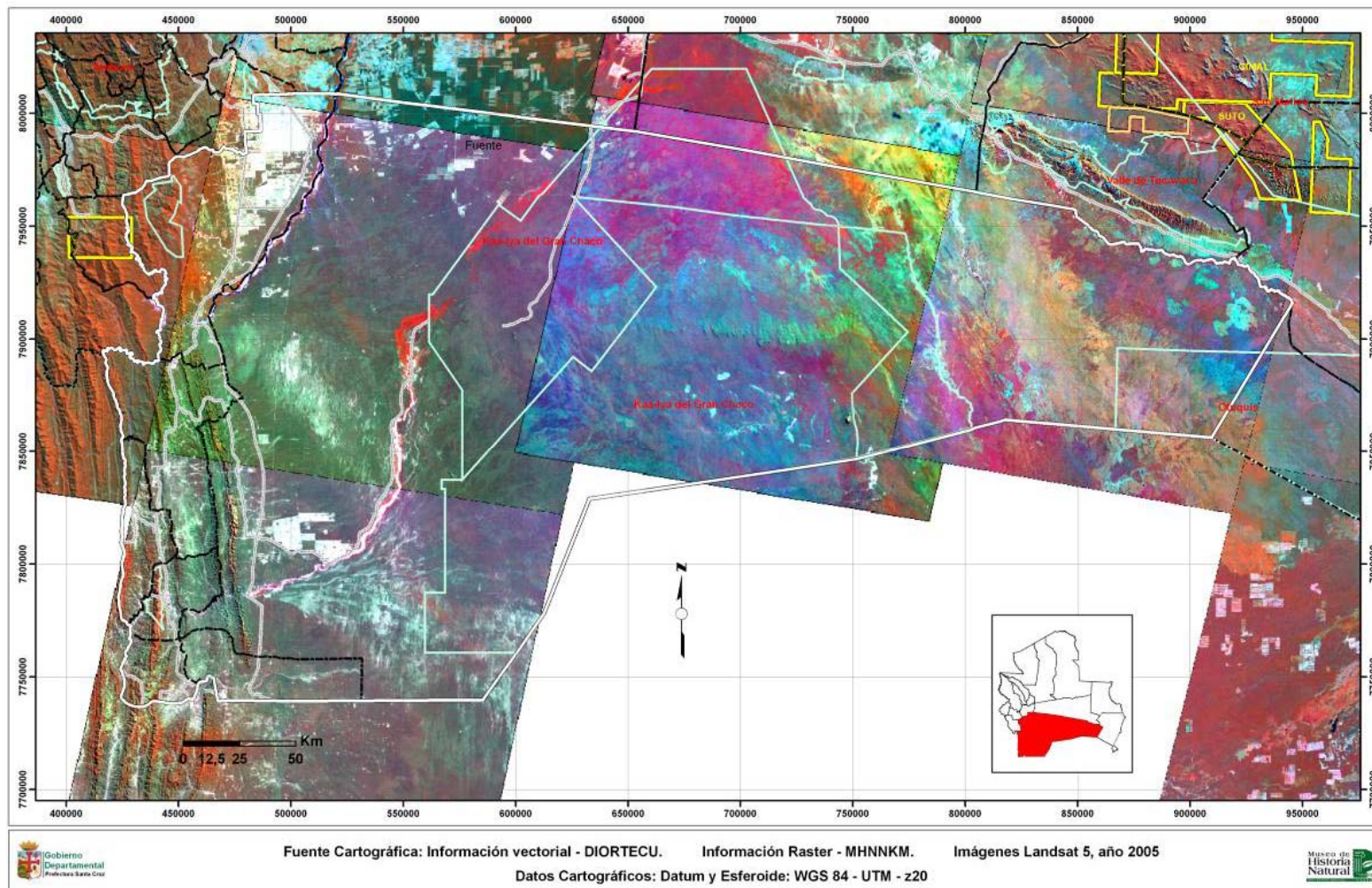


Fig.2 Mosaico de imágenes de satélite Landsat para la Provincia Cordillera - 2005

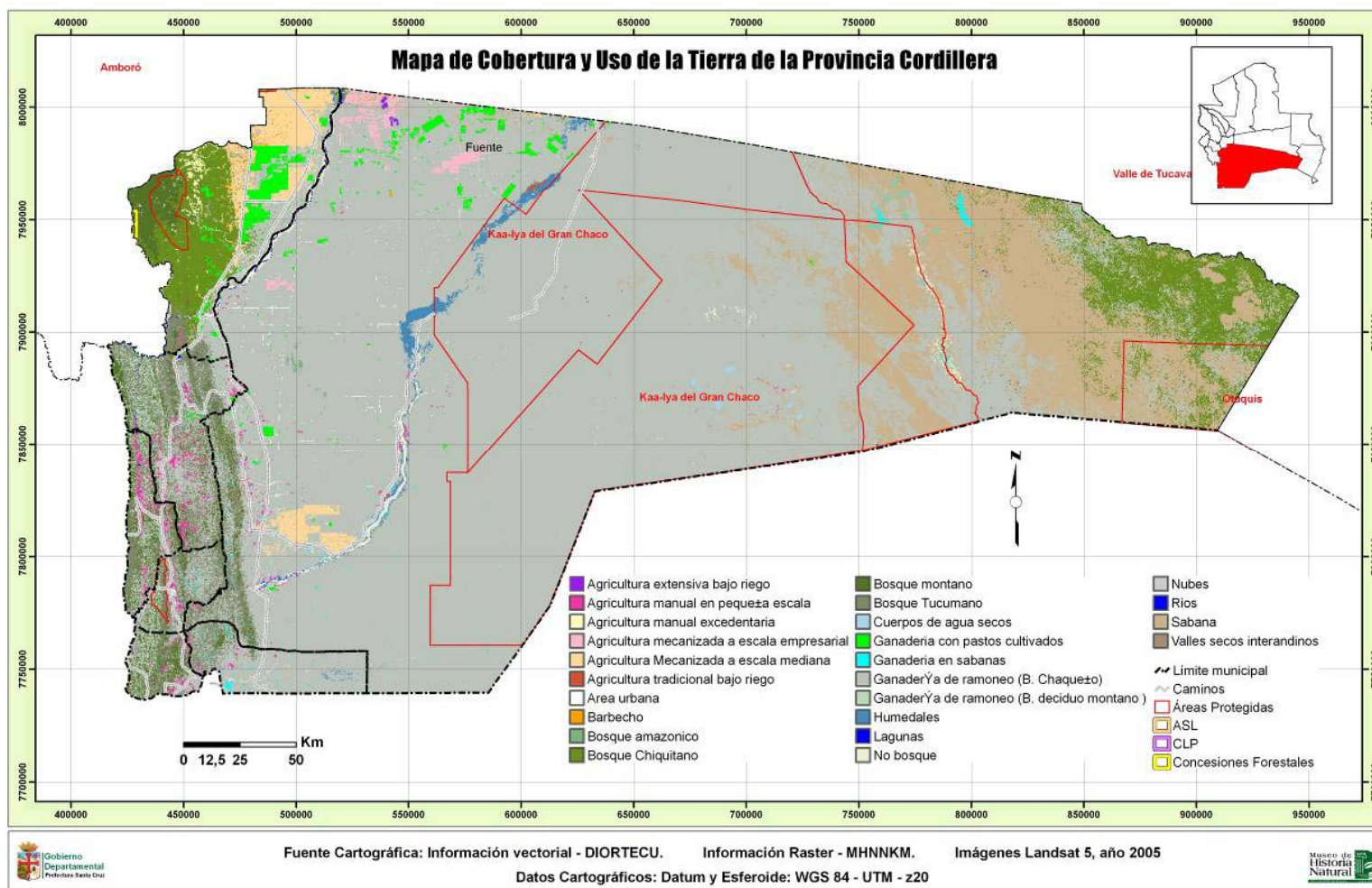


Fig. 3 Mapa de Cobertura y Uso del Suelo de las imágenes Landsat clasificadas para la Provincia Cordillera – 2005

El trabajo consistió en el reconocimiento de las áreas de producción de su especialidad en el mosaico de imágenes y con esa información se corroboraba o no la clasificación que se había hecho en laboratorio del uso del suelo para esta área.

La información adicional proveniente de estos talleres se encuentra en la Base de Datos que acompaña el Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra, en formato grid.

## 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.
- 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.
- Killen, T., E. Garcia & S. Beck (eds.). 1993. *Guía de Árboles de Bolivia*. Herbario Nacional de Bolivia, Missouri Botanical Garden. La Paz, Bolivia. 958 págs.
- Lillesand, T., Kiefer, R., 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley, Inc. New York. 749 págs.
- Navarro, G; M. Maldonado 2002. *Geografía ecológica de Bolivia: Vegetación y Ambientes Acuáticos*. Centro de Ecología Simón I. Patiño. Cochabamba, Bolivia. 719 p.
- PRIME Engenharia; MHNNKM; POTLATCH. 2000. *Evaluación Ambiental Estratégica del Corredor Santa Cruz-Puerto Suárez-Bolivia*. Financiado por el BID.
- University of Maryland, Geography Department. 1998. *NASA Landsat Pathfinder Humid Tropical Deforestation Project*.
- Ministerio de Desarrollo Sostenible, Viceministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Santa Cruz de la Sierra, Marzo 2005. *Evaluación Estratégica Ambiental de la Agricultura, Ganadería, Forestal y Cuencas del Oriente Boliviano*.

# ANEXOS

## **Personal Participante en el Proyecto**

Los profesionales que han participado en el Estudio de la Cobertura y Uso Actual de la Tierra en el Departamento de Santa Cruz son los siguientes:

### **Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado**

Ing. Patricia Herrera de Pinto  
Directora Museo de Historia Natural NKM

Lic. Lisete Correa da Silva Jefe Departamento de Geografía e Informática	Coordinación Estudio
Lic. Belen Quezada Analista de Sensores Remotos y SIG	Coordinación Técnica
Lic. Ana Guerra Analista de Sensores Remotos y SIG	Análisis Información satelital/SIG
Lic. Veronica Calderon Analista de Sensores Remotos y SIG	Análisis Información satelital/SIG
Ing. Miki Calzadilla Analista de Sensores Remotos y SIG	Análisis Información satelital
Lic. Liliana Soria Analista de Sensores Remotos y SIG	Análisis Información satelital Revisión documento

### **Prefectura del Departamento de Santa Cruz**

Dr. Edwin Aguilera Antunez  
Secretario Departamental Desarrollo Sostenible

Ing. Carlos Roca Avila  
Dirección de Ordenamiento Territorial, Cuencas y PLUS

Ing. Juan de Dios Algarañaz  
Responsable O.T.

Ing. Oscar Justiniano Gil  
Responsable O.T.

Lic. Patricia Mendez Suarez  
Responsable Técnica O.T.

Coordinación Estudio

**Superficie de Unidades de Cobertura y Uso Actual de la Tierra  
para el  
Departamento de Santa Cruz - 2005**

<b>Unidades de Cobertura y Uso de la Tierra</b>		<b>Has</b>
<b>Cobertura de la Tierra</b>		
1.	Sabana	4,814,984
2.	No bosque	109,758
3.	Bosque Tucumano	383,089
4.	Bosque amazónico	5,580,527
5.	Bosque Chiquitano	11,833,731
6.	Bosque montano	879,553
7.	Valles secos interandinos	88,227
8.	Humedales	387,110
9.	Lagunas	96,487
10.	Ríos	95,165
11.	Cuerpos de agua secos	19,856
<b>Uso de la tierra</b>		
1.	Agricultura manual en pequeña escala	138,070
2.	Agricultura manual excedentaria	192,431
3.	Agricultura tradicional bajo riego	82,595
4.	Agricultura mecanizada a escala empresarial	990,115
5.	Agricultura mecanizada a escala mediana	1,012,751
6.	Agricultura extensiva bajo riego	4,631
7.	Ganadería con pastos cultivados	643,363
8.	Ganadería en sabanas	1,156,314
9.	Área urbana	57,276
10.	Ganadería de ramoneo	
	Bosque Chaqueño	7,027,514
	Bosque Deciduo Montano	477,545
11.	Barbecho	374,524

## Imágenes satelitales

### LANDSAT 5 TM

#### Introducción:

El satélite Landsat 5 fue puesto en órbita el 1° de marzo de 1984 portando el sensor TM (Mapeador Temático) con captura de datos en 7 bandas diferentes. Su órbita, sincrónica con el sol, tiene una altura de 705 Km y un período de 98.9 minutos, o sea que da 14 vueltas diarias alrededor de la Tierra. Por ser heliosincrónica pasa por una determinada longitud siempre a la misma hora, las 9:45 am (hora local).

#### El satélite y el sensor:

El Landsat 5 pertenece al programa Landsat, financiado por el gobierno de los Estados Unidos y operado por la NASA. Pesa 2200 Kg y tiene una longitud aproximada de 4 metros. Lleva a bordo un sensor denominado Thematic Mapper (TM) que opera en siete bandas espectrales diferentes. Estas bandas fueron elegidas especialmente para el monitoreo de vegetación a excepción de la banda 7 que se agregó para aplicaciones geológicas.

Banda 1: ( 0,45 a 0,52 micrones - azul -) Diseñada para penetración en cuerpos de agua, es útil para el mapeo de costas, para diferenciar entre suelo y vegetación y para clasificar distintos cubrimientos boscosos, por ejemplo coníferas y latifoliadas. También es útil para diferenciar los diferentes tipos de rocas presentes en la superficie terrestre.

Banda 2: (0,52 a 0,60 micrones - verde -) Especialmente diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, midiendo su pico de reflectancia (o radiancia) verde. También es útil para diferenciar tipos de rocas y, al igual que la banda 1, para detectar la presencia o no de limonita.

Banda 3: (0,63 a 0,69 micrones - rojo -) Es una banda de absorción de clorofila, muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal. También sirve en la diferenciación de las distintas rocas y para detectar limonita.

Banda 4: (0,76 a 0,90 micrones - infrarrojo cercano -) Es útil para determinar el contenido de biomasa, para la delimitación de cuerpos de agua y para la clasificación de las rocas.

Banda 5: (1,55 a 1,75 micrones - infrarrojo medio -) Indicativa del contenido de humedad de la vegetación y del suelo. También sirve para discriminar entre nieve y nubes.

Banda 6: (10,40 a 12,50 micrones - infrarrojo termal -) El infrarrojo termal es útil en el análisis del stress de la vegetación, en la determinación de la humedad del suelo y en el mapeo termal.

Banda 7: (2,08 a 2,35 micrones - infrarrojo medio -) Especialmente seleccionada por su potencial para la discriminación de rocas y para el mapeo hidrotermal. Mide la cantidad de hidróxilos (OH) y la absorción de agua.

Estas siete bandas pueden combinarse de a tres o más, produciendo una gama de imágenes de color compuesto que incrementan notablemente sus aplicaciones, especialmente en el campo de los recursos naturales.

El mapeador temático (TM) tiene mayor sensibilidad radiométrica que su antecesor, el MSS, y mejor resolución espacial, ya que el tamaño del pixel en todas las bandas excepto la 6, es de 30 metros. Esto permite la clasificación de zonas tan pequeñas como 2,5 o 3 hectáreas. La banda 6, que es una banda termal, tiene un pixel de 120 metros en el terreno.

### **Niveles de corrección geométrica de las imágenes Landsat 5**

En todas las imágenes, y esto es válido para todos los satélites comercialmente disponibles, las correcciones sistemáticas son algoritmos de rectificación de la imagen cruda aplicados automáticamente en la estación de recepción, usando parámetros espaciales contenidos en los archivos descriptores de imagen (datos de posicionamiento y efemérides del satélite), que consiguen minimizar las variaciones espaciales internas presentes en la imagen en su estado bruto, correcciones del ángulo de curvatura terrestre, variaciones de velocidad, altura y actitud del satélite, desplazamientos orbitales, etc. Las imágenes Landsat 5 están disponibles en 3 niveles de corrección geométrica:

Nivel 4: Es una corrección sistemática básica que se aplica a todos los productos. Se obtiene la denominada imagen cruda.

Nivel 5: La imagen es georreferenciada utilizando las efemérides del satélite. El remuestreo se realiza por convulsión cúbica.

Nivel 6: En este caso el georreferenciamiento se realiza a partir de puntos de control terrestre que pueden obtenerse de cartografía existente o por medición en el terreno con tecnología GPS. Se obtiene una imagen rectificadas a una determinada proyección cartográfica.

### Las imágenes aplicadas a los mapas

Originalmente, los mapas de cobertura vegetal fueron elaborados con cartografía tradicional y estudios de campo y a menudo, cuando la escala lo permitía, se aprovechaban fotos aéreas para especializar la información. Pero, con la disponibilidad de imágenes satelitales la metodología fue revolucionada en los mediados de la década de los setentas. Existen varios sistemas e instrumentos conocidos en su conjunto como sensores remotos, y el más utilizado ha sido el del sistema Landsat que estuvo disponible desde los años 70 con el Landsat 1 y 2 (Multi Spectral Scanner o MSS), luego reemplazados por Landsat 5 (Thematic Mapper o TM) y Landsat 7 (Enhanced Thematic Mapper o ETM). En cada generación del sistema la resolución de las imágenes mejoraba tanto en términos espaciales como en espectrales (Lillesand & Kiefer 1997).

En realidad, las imágenes no son fotografías sino una tabla de datos con valores que registran una medida de la intensidad de reflexión de luz (o de microondas en el caso de radar) en ciertas regiones definidas del espectro electromagnético conocidos como bandas espectrales, que van desde la luz visible hasta la infrarroja. Las imágenes son una representación visual del conjunto de estas bandas, las cuales están proyectadas por filtros de color rojo - 4, verde- 5 y azul- 3. Esta combinación de las bandas 4-5-3, en las imágenes Landsat, realza los cuerpos vegetales y suelos, permitiendo diferenciar las unidades para el mapeo.

Posteriormente, se han desarrollado aplicaciones de computadores para el análisis digital de las imágenes. El análisis se hace a base del "píxel", que es el cuadrante mínimo de la imagen. El píxel cuenta con dimensiones (superficie expresada en m<sup>2</sup>) y el conjunto de los datos de reflexión de luz para cada banda electromagnética. Los programas de análisis de imágenes agrupan los píxeles en "clases" según su similitud estadística. Existen varios métodos de clasificación de imágenes, que varían dependiendo del análisis estadístico empleado, pero pueden ser resumidos en dos métodos generales: la clasificación

supervisada y la no-supervisada. En una clasificación no-supervisada, la utilizada en este estudio, el computador realiza una serie de agrupaciones iterativas para obtener el promedio y las varianzas sobre las cuales la agrupación final es realizada. Con esta metodología, las clases tienden a tener mayor homogeneidad con varianzas mínimas (Lillesand & Kiefer 1996).

La clasificación digital de imágenes es útil para distinguir entre unidades mayores de cobertura de suelo y uso, debido a sus diferencias estructurales claras e inconfundibles. Se puede diferenciar entre pastizales, matorrales y bosques, como también entre tierras inundadas y las no inundadas, hasta distinguir entre bosques deciduos, semi-deciduos de los siempre verdes. La deforestación es fácilmente reconocible desde el espacio debido a los cambios dramáticos en la estructura de la vegetación. Se puede detectar también el abandono de los campos agrícolas y la rotación de tierras mediante la presencia de bosques secundarios (Steininger 2000).

Lista de Mapas de Cobertura y Uso de la Tierra por Provincias y Municipios

Provincia	Capital	Municipio
Andrés Ibáñez	Santa Cruz de la Sierra	1 Santa Cruz de la Sierra
		2 Cotoca
		3 Porongo o Ayacucho
		4 La Guardia
		5 El Torno
Ángel Sandoval	San Matías	6 San Matías
Manuel María Caballero	Comarapa	7 Comarapa
		8 Saipina
Chiquitos	San José	9 San José de Chiquitos
		10 Pailón
		11 Roboré
Cordillera	Lagunillas	12 Lagunillas
		13 Charagua
		14 Cabeza
		15 Cuevo
		16 Gutiérrez
		17 Camiri

		<b>18</b> Boyuibe
Florida	Samaipata	<b>19</b> Samaipata
		<b>20</b> Pampa Grande
		<b>21</b> Mairana
		<b>22</b> Quirusillas
Germán Busch	Puerto Suárez	<b>23</b> Puerto Suárez
		<b>24</b> Puerto Quijarro
		<b>25</b> Carmen Rivero Tórriz
Guarayos	Ascensión	<b>26</b> Ascensión de Guarayos
		<b>27</b> Urubichá
		<b>28</b> El Puente
Ichilo	Buena Vista	<b>29</b> Buena Vista
		<b>30</b> San Carlos
		<b>31</b> Yapacaní
		<b>32</b> San Juan de Yapacaní
Ignacio Warnes	Warnes	<b>33</b> Warnes
		<b>34</b> Okinawa Uno
Ñuflo de Chávez	Concepción	<b>35</b> Concepción
		<b>36</b> San Javier
		<b>37</b> San Ramón

		<b>38</b> San Julián
		<b>39</b> San Antonio de Lomerío
		<b>40</b> Cuatro Cañadas
José Miguel de Velasco	San Ignacio	<b>41</b> San Ignacio de Velasco
		<b>42</b> San Miguel de Velasco
		<b>43</b> San Rafael
Obispo Santistevan	Montero	<b>44</b> Montero
		<b>45</b> Saavedra
		<b>46</b> Mineros
		<b>47</b> Fernandez Alonso
		<b>48</b> San Pedro
Sara	Portachuelo	<b>49</b> Portachuelo
		<b>50</b> Santa Rosa del Sara
		<b>51</b> Colpa Bélgica
Vallegrande	Vallegrande	<b>52</b> Vallegrande
		<b>53</b> Trigal
		<b>54</b> Moro Moro
		<b>55</b> Postrer Valle
		<b>56</b> Pucara

## **Información digital**

Acompaña este informe la información digital referente al Estudio, que consta de:

1. Mapa de Cobertura y Uso del Suelo del Departamento de Santa Cruz en formato .img
2. Mapa de Cobertura y Uso del Suelo del Departamento de Santa Cruz en formato .grid con su respectiva base de datos
3. Mapa de Cobertura y Uso del Suelo por Provincias en formato .img
4. Mapa de Cobertura y Uso del Suelo por Municipios en formato .img
5. 20 Imágenes de satélites Landsat en formato .img georeferenciadas
6. 20 Imágenes de satélites Landsat en formato .img georeferenciadas y clasificadas
7. Otra cartografía temática
8. Memoria explicativa del Mapa Cobertura y Uso del Suelo del Departamento de S. Cruz