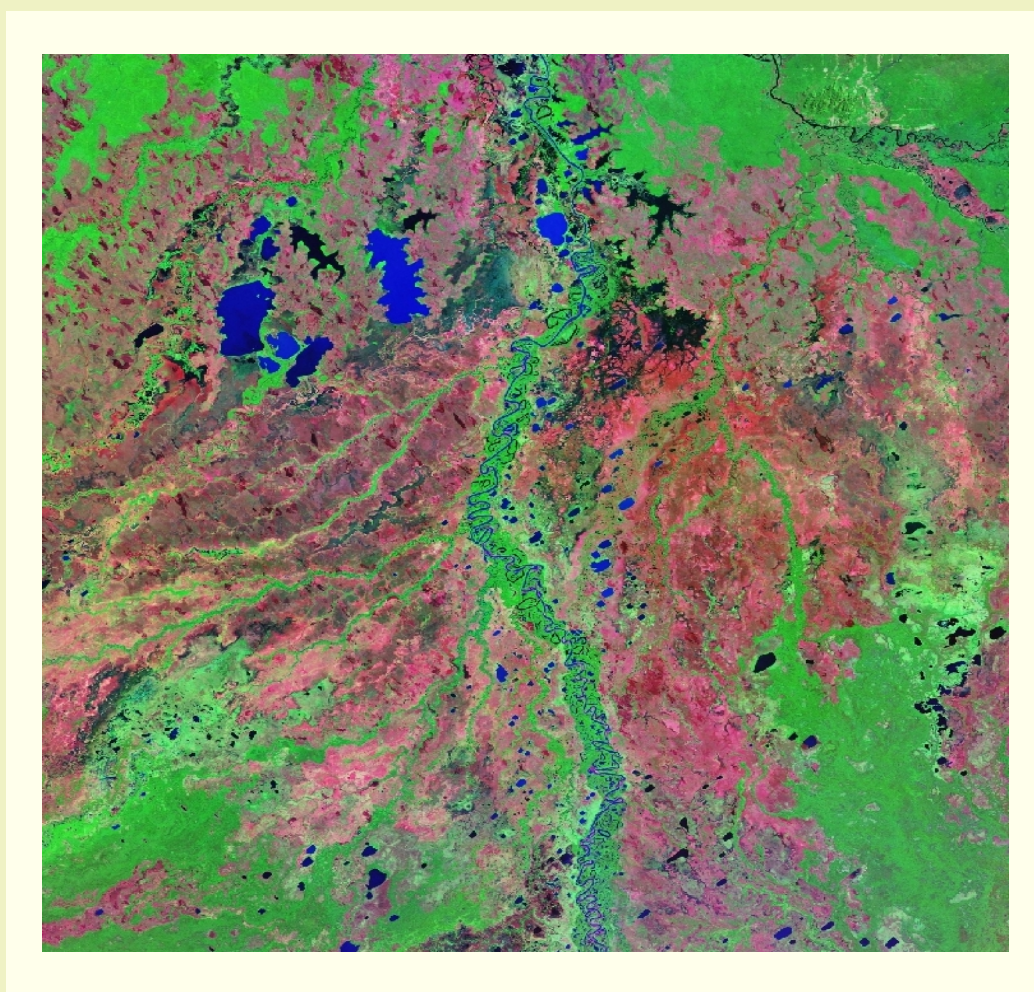


Mapa de Cobertura  
y  
Uso Actual de la Tierra  
Departamento del Beni

*En base a imágenes de satélite del año 2008*



*Memoria Explicativa*

# Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni – 2008

## *Memoria Explicativa*

**Fundación Amigos del Museo NKM**



y



**Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado**

Para

**Fundación Amigos de la Naturaleza**



Santa Cruz, Diciembre 2009

## 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 y Producto Final**

- 3.1 Corroboración y Observaciones de la clasificación de uso de la tierra
- 3.2 Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra para el Departamento del Beni
- 3.3 Superficie de Unidades de Cobertura y Uso Actual de la Tierra para el Departamento del Beni – 2008

### **Bibliografía**

### **Anexos**

- Personal participante en el Proyecto
- Generalidades sobre Sensoramiento Remoto

**Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

---

**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 departamento del Beni, uno de los destinos situado al noreste de Bolivia, tiene como limite norte el departamento de Pando; al este el limite natural formado por los ríos Iténez y Mamoré; al sur las serranías de Marimonos y Mosetenes y al sureste los departamentos de Santa Cruz y Cochabamba, cuyo limite todavía no está definido; al oeste el departamento de La Paz. (Urioste, 2001)

Su clima es de tropical a subtropical y es formado por 2 provincias fisiográficas que son Ondulado Amazónico y Escudo Precámbrico, con una muy rica y variada disponibilidad de recursos hídricos en toda el área, con zonas de inundación estacional en las llanuras y zonas secas correspondiendo al periodo de invierno.

Más de 50% del departamento del Beni es ocupado por los Llanos de Moxos, región que presenta inundaciones periódicas las cuales se originan de aguas procedentes del desbordamiento estacional de los ríos (principalmente del río Mamoré), de afluentes que nacen en las cordilleras y del agua resultante de las precipitaciones locales. Su paisaje está caracterizado por un mosaico de formaciones vegetales, cuya variación espacial y temporal origina en la zona una combinación única, que junto con su particular dinámica hidrológica (periodos de inundación que oscilan entre 2 y 11 meses) definen la región como un ecosistema distinto y único del país. Al mismo tiempo, la presencia del hombre en la zona no es reciente (al menos desde 2.800 años atrás).

*La histórica presencia de la cultura y actividades mojeña, junto con recientes modelos productivos de ganadería, expansión de la frontera agrícola y el aprovechamiento ilegal de vida silvestre han contribuido, en gran parte, al paisaje que hoy observamos.*

*A pesar de su singularidad gran parte de los Llanos de Moxos no se encuentran aún bajo un modelo de conservación de biodiversidad. Para poder construirlo es necesario generar un diagnóstico integral del área, cuya información podrá ser utilizada en diferentes análisis contribuyendo a una evaluación real del territorio.*

**Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

---

*La Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN-Bolivia) ha asumido el desafío de generar e implementar una propuesta como un aporte a las acciones de conservación de la región y con el propósito de brindar herramientas útiles de planificación que permitan una adecuada gestión y conservación de la biodiversidad. (Construyendo agendas socioeconómicas y ambientales para la conservación de los Llanos de Moxos, Resumen Ejecutivo, 2009)*

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 una información esencial para la planificación del uso y ordenamiento del territorio, además de servir como línea base para un monitoreo de cambios de usos futuros en el área de estudio.

## **CAPITULO I**

### **Aspectos Generales**

#### **1.1 Antecedentes**

La Fundación Amigos de la Naturaleza - FAN Bolivia, toma como desafío *la construcción de una visión de conservación de los Llanos de Moxos que incorpore las aspiraciones de los actores locales y corresponda a las necesidades de conservación de diversidad biológica, integrada a las características y valores socioculturales de la región, para que se constituya en la base para la gestión de este ecosistema particular y único y contribuya, asimismo, al fortalecimiento y complementariedad del sistema de áreas protegidas.*

El área principal de acción es la conocida por *Llanos de Moxos*, entendida como la región ubicada al noreste de Bolivia, entre los 12 y 16° de latitud sur, teniendo como limite oeste y sur los Andes, el Escudo Precámbrico al este y al norte las sabanas del Cerrado del norte beniano. No obstante, con el propósito de contribuir a las políticas de gestión y planificación de conservación en la región, el proyecto abarcará en su alcance geográfico a todo el departamento del Beni.

Para este fin encarga al Museo de Historia Natural NKM la elaboración del Mapa de Cobertura y Uso Actual del Suelo para el Departamento del Beni, en base a imágenes satelitales.

#### **Objetivo**

*Elaborar el Mapa de la Cobertura Vegetal y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni, a través de imágenes satelitales, para el año 2008.*

#### **1.2 Metodología**

El mapa de cobertura vegetal y uso actual de la tierra generado es producido por la interpretación digital de imágenes de satélite y a seguir se describe el tratamiento previo que se aplica a las imágenes así como la metodología aplicada en la clasificación de las mismas.

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

Las imágenes elegidas para la elaboración del mapa de cobertura y uso actual de la Tierra son las 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 9.1.

## Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni

### 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 tros 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 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 (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.

**Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

---

*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 cualquier análisis, pero más que nunca en este caso de 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 (Chuvieco, 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>).

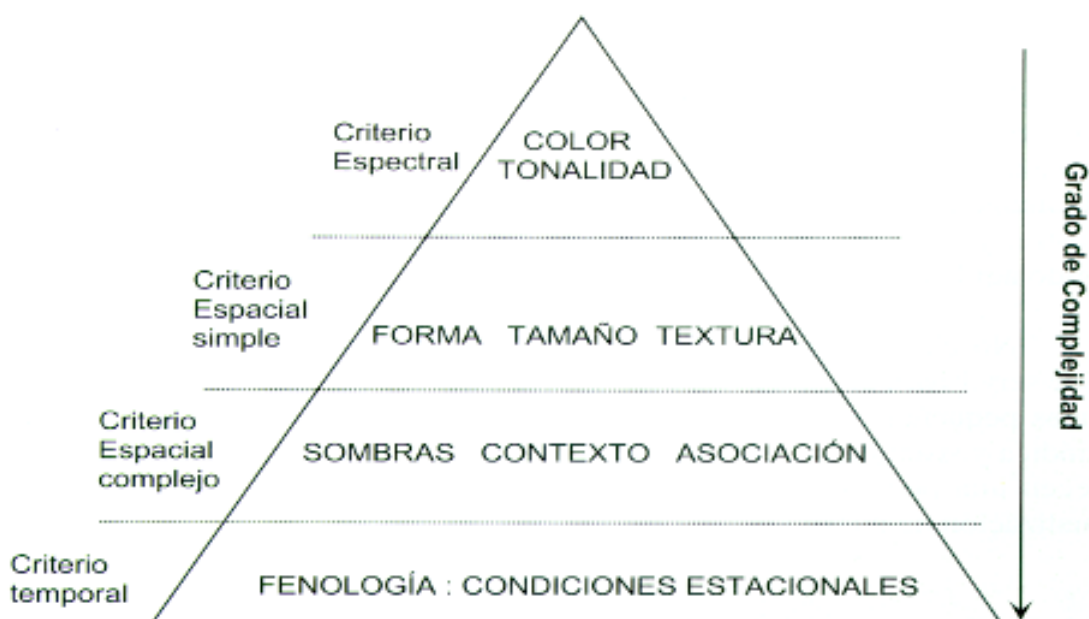
Tanto la imagen de referencia como las imágenes a ser georeferenciadas fueron trabajadas con la proyección UTM, zona 20 Sur, Datum WGS84, teniendo como unidad de medida al metro. Para la geo-referenciación se utilizó la opción RASTER/GEOMETRIC CORRECTION, seleccionando el modelo POLYNOMIAL.

La selección de los puntos de control debió cumplir con las siguientes características: que sean fácilmente localizables y 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 útil para los fines esperados (Fig.1).

Fig. 1. Criterios de interpretación visual



Fuente: Chuvieco, 2002.

### 1.2.2 El procesamiento de las imágenes

#### *Clasificación digital*

Como fruto de la clasificación digital es que se obtienen los mapas temáticos con las categorías objeto del 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).

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

**Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

---

combinación de bandas 4,5,3 en los canales RGB con 100 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 100 iteraciones para llegar a un nivel del 99% 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”.

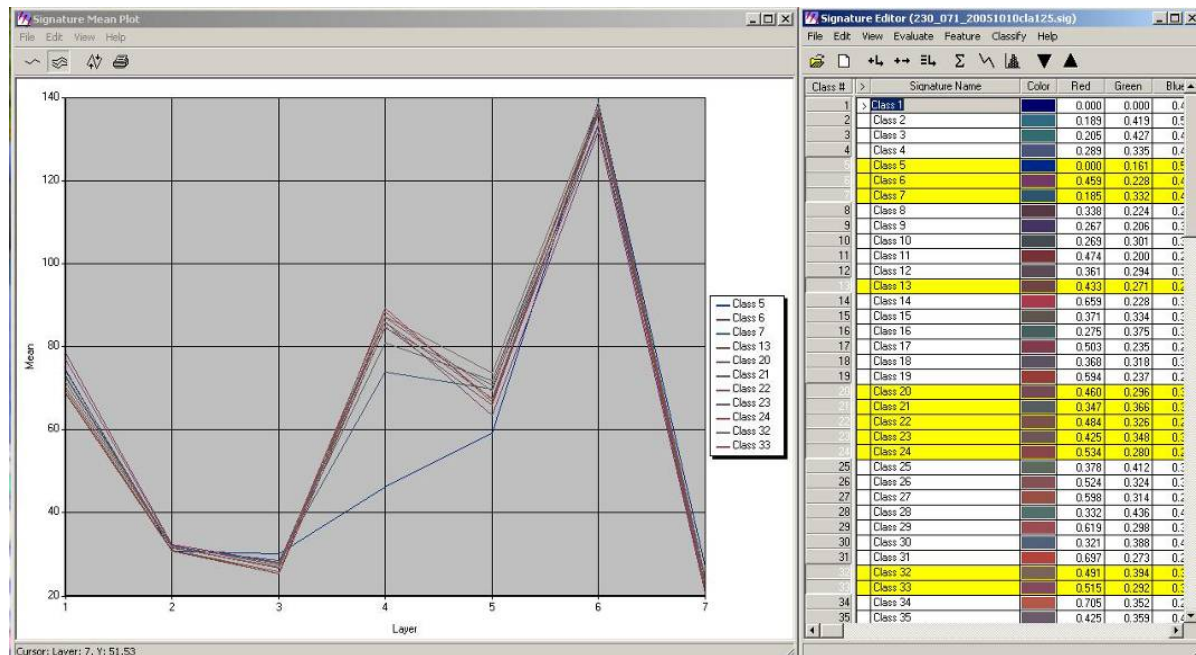
A pesar de todas las facilidades para distinguir a las clases compuestas de píxeles mixtos, se necesitó realizar otros procedimientos, uno de ellos y el más efectivo para resolver el problema de clasificación de píxeles es reducir el universo sujeto a la clasificación, utilizando criterios espaciales 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

## Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni

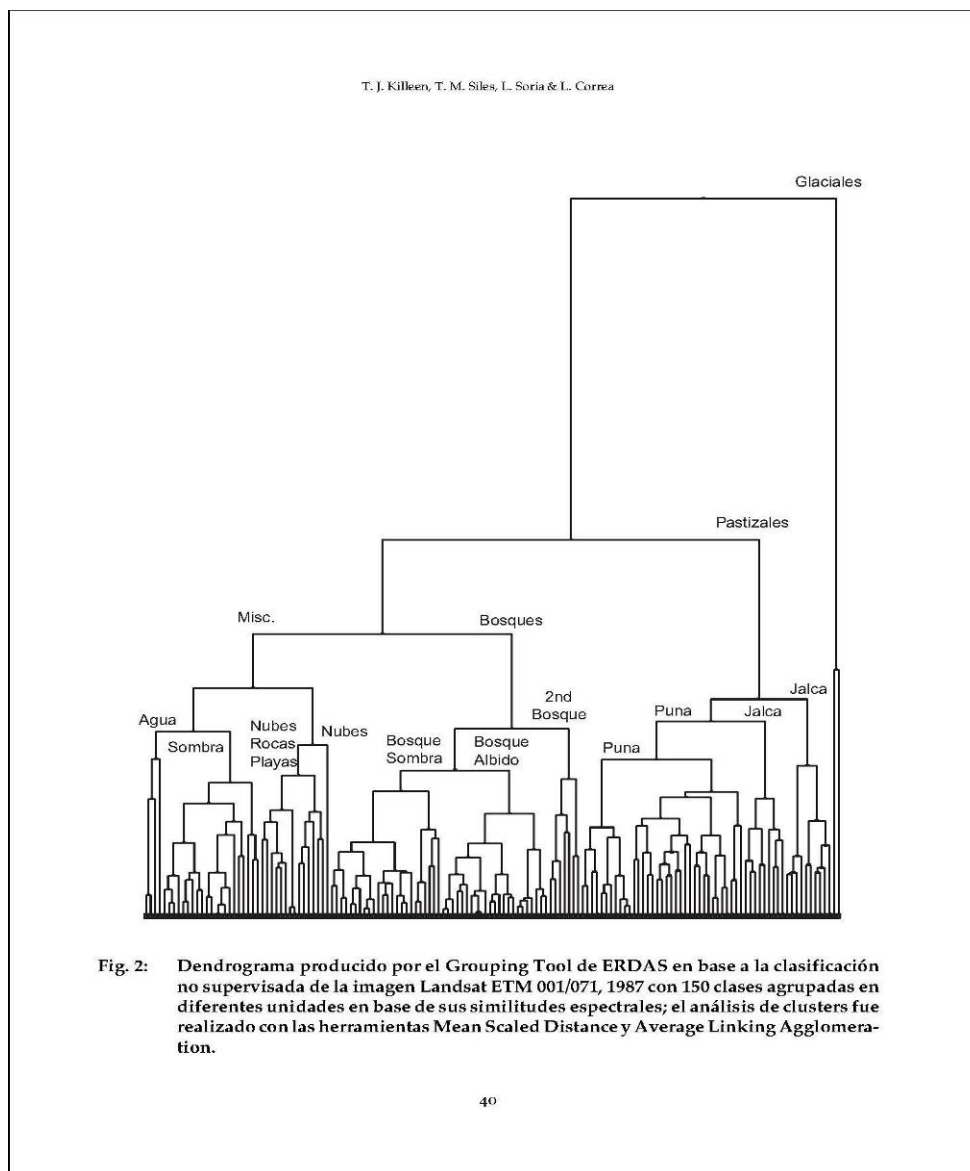
proporciona el promedio de los píxeles de cada grupo, siendo utilizado como una herramienta para comparar las diferentes clases y sus similitudes (Figura 2).

**Fig. 2 Signaturas espectrales**



El Programa ERDAS 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 (Figura 3).

**Fig. 3. Dendrograma**



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.

**Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

---

*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.

**Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

**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**

<b>Clase de cobertura vegetal</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>7</b>
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 albido 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 albido 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

Las 125 clases resultantes fueron agrupadas, a través del análisis visual, espacial y espectral ya descrito, en 9 clases de cobertura, 8 clases de uso del suelo y 2 clases de cambio de uso, 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.

**Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

<b>Clases de Cobertura Natural</b>
Bosque
Matorral
Sabana
Otras Tierras
Humedal
Río
Laguna
Nube
Sombra
<b>Clases de Uso</b>
Bosque intervenido
Barbecho
Uso agropecuario
Ganadería en pasto cultivado
Ganadería en sabana
Quema
Área urbana
Minería
<b>Clases de cambio 2008/2009</b>
Cambio en Bosque
Cambio en Matorral

**1.3 Área de Estudio**

El área de estudio corresponde al Departamento del Beni y esta cubierta por 15 escenas de imágenes Landsat 5 TM del año 2008, siendo 4 imágenes completas y 11 parciales, cuya identificación (Path/Row) se encuentra listada abajo, con sus respectivas fechas (Cuadro 2).

Se hace notar que en la elección de las imágenes, no ha sido posible mantener la resolución temporal (imágenes de la misma fecha) pero si fue posible mantenerlas dentro un periodo no mayor a 4 meses y las elegidas son las que, dentro de la disponibilidad que había, mejor calidad y menos nubosidad presentaron.

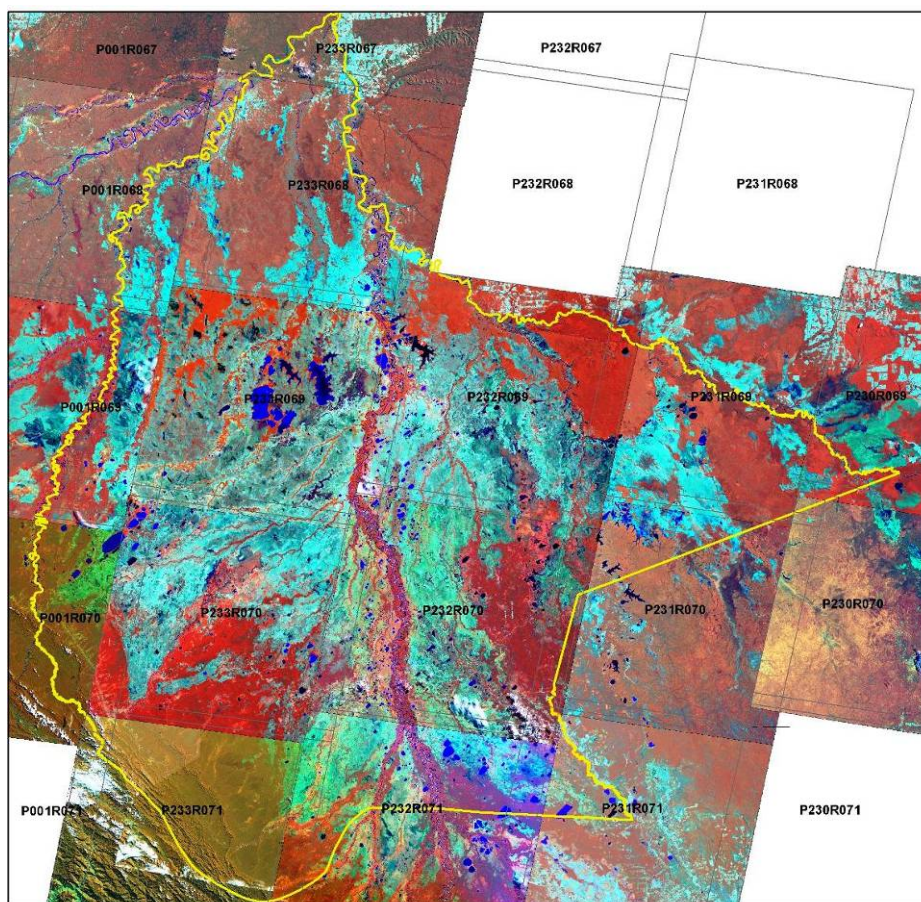
La siguiente representación esquemática (Fig. 4) muestra la cobertura del Departamento y la cobertura de imágenes Landsat 5 TM, con su respectiva identificación.

Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni

Cuadro 2. Path/Row de las imágenes Landsat y sus respectivas fechas

Path	Row	Fecha	Path	Row	Fecha
1	70	20080912	231	70	20081009
233	70	20080808	232	69	20080728
232	70	20080712	233	67	20080719
232	71	20090903	233	68	20080820
1	68	20080811	233	69	20080820
1	69	20081014	233	71	20090604
230	69	20080916	231	71	20081009
231	69	20080923			

Fig. 4. Visualización del Path/Row de las imágenes Landsat utilizadas en el Mapa de Uso de la Tierra del Beni



## 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* de la tierra entendemos el tipo de ocupación existente sobre ella, 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 conceptuar 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 9 clases de cobertura natural, 8 clases de uso y 2 clases de cambio, que se listan abajo:

**Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

---

**Coberturas Naturales:**

- Bosque
- Matorral
- Sabana
- Otras Tierras
- Humedal
- Río
- Laguna
- Nube
- Sombra

**Usos de la tierra**

- Bosque intervenido
- Barbecho
- Uso Agropecuario
- Ganadería con pasto cultivado
- Ganadería en sabana
- Quema
- Área urbana
- Minería

**Cambio de Cobertura entre 2008-2009**

- Cambio en Bosque
- Cambio en Matorral

**2.3 Descripción de las clases de Cobertura y Uso de la Tierra**

El Mapa de Uso de la Tierra del Dpto. del Beni incluye las coberturas naturales y las clases de uso al 2008. También están adicionadas las clases que muestran el cambio ocurrido en bosques y en matorral entre 2008 y 2009, para los sitios actualizados.

La descripción de los diferentes tipos de cobertura se basa en los Términos de Referencia del proyecto, que fueron reformulados y adaptados de acuerdo al análisis visual de las imágenes.

Así, se generaron clases adicionales tales como: "Quema", "Bosque intervenido", "Matorral", "Minería".

**Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

---

**Coberturas Naturales:**

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

**Matorral:** Área natural que presenta vegetación arbustiva que no es considerada como bosque.

**Sabana:** Cobertura compuesta por extensos pastizales y árboles dispersos. La vegetación está conformada por plantas herbáceas, esencialmente gramíneas de gran altura, arbustos más o menos dispersos y árboles aislados.

**Otras Tierras:** Lugares naturales donde la vegetación es nula o casi nula, como ser cauces de ríos, afloramientos rocosos, dunas y otros.

**Humedales:** Esta categoría incluye áreas que están cubiertas o saturadas por agua la mayor parte del tiempo y que no incluye áreas de bosque u otra cobertura natural o antropogénica.

**Río:** Cuerpos de agua.

**Laguna:** Cuerpos de agua.

**Nube:** Áreas cubierta por nubes

**Sombra:** Sombra de nubes.

**Usos de la Tierra:**

**Bosque intervenido:** Vegetación boscosa que ha sufrido algún tipo de alteración no identificada.

**Barbecho:** Esta clase corresponde a áreas intervenidas por el hombre con vegetación en diferentes etapas sucesionales.

**Uso Agropecuario:** Son áreas donde la cobertura natural ha sido intervenida por el hombre, principalmente para el establecimiento de agricultura y/o ganadería.

**Ganadería en pasto cultivado:** Áreas deforestadas donde se ha cultivado pastos para la actividad ganadera.

**Ganadería en Sabana:** Áreas de pasturas naturales destinadas a la ganadería.

**Quema:** Cicatrices de fuego que podrían estar asociadas a la actividad ganadera.

**Área Urbana:** Centros poblados y caminos principales.

**Minería:** Áreas donde se desarrolla actividad minera, identificadas en base a la cobertura de concesiones mineras (SERGEOMIN).

### **Clases de cambio entre 2008 y 2009**

**Cambio en bosque entre 2008-2009:** Cambio en la cobertura de bosque generados para cinco escenas donde se da la mayor deforestación.

**Cambio en matorral entre 2008-2009:** Cambio en la cobertura de matorral generados para cinco escenas donde se da la mayor deforestación.

## CAPITULO III

### **Corroboración de Información y Producto Final**

#### **3.1 Corroboración y Observaciones 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 del Beni y la consecuente dificultad logística y económica para desarrollar un trabajo de campo, se ha decidido, hasta este momento, por corroboración indirecta de la información.

Para la corroboración del mapa se utilizó información digital de diferentes orígenes como el Mapa de Vegetación de Gonzalo Navarro, Concesiones Minera de SERGEOMIN, comparación visual con Google Earth en las áreas donde este programa presenta imágenes de alta resolución y por lo tanto mejor visualización, así como información secundaria en formato de coberturas digitales (shapefiles) de ArcView, proporcionada por FAN en dos entregas:

#### **Vía e-mail (07/12/2009)**

- estancias\_ganaderas
- ganaderia\_utm
- Subregiones\_modif\_Nv-Ferr

#### **Entrega de CD (08/12/2009)**

- catastro\_agropecuario
- cobertura de uso 2001
- estancia\_ganaderas\_ebb

De todas las coberturas digitales mencionadas anteriormente solo la cobertura de "ganaderia\_utm" y "estancias\_ganaderas" ayudaron a corroborar algunas áreas de uso ganadero, ya que no cubrían todo el Departamento del Beni. El resto de las coberturas digitales no tenían información suficiente y en algunos casos estaban desfasadas o no correspondían al tipo de cobertura de uso ganadero.

**Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

A seguir algunas observaciones relevantes para el entendimiento del alcance de la información del mapa:

- Para la identificación de algunas áreas de *Ganadería en pasto cultivado* se utilizó algunos criterios visuales y de reflectancia como ser la forma del área deforestada, la cantidad de barbecho y cicatrices de quema.
- La cobertura natural de tipo Cerrado fue fusionada a la clase *Sabana* debido a la dificultad para separarlas por tener similar reflectancia en sus firmas espectrales.
- La identificación del uso de *Ganadería en Sabana* se la obtuvo a partir de un realce de las firmas espectrales a través de la realización de un contraste general en las bandas de la imagen.
- Para las zonas donde ha habido deforestación no se ha determinado con exactitud el uso de la tierra debido a la resolución de la imagen y a la escasa información secundaria.
- Algunas áreas con presencia de nubes fueron reemplazadas por imágenes sin nubes del mismo año como:
  - En el caso de la escena con el Path/Row 233/71, que es una composición de las siguientes tres fechas debido a la presencia de nubes.

P233	R071	20080804 (Corte1)
		20080820 (Corte2)
		20070615 (Corte3)

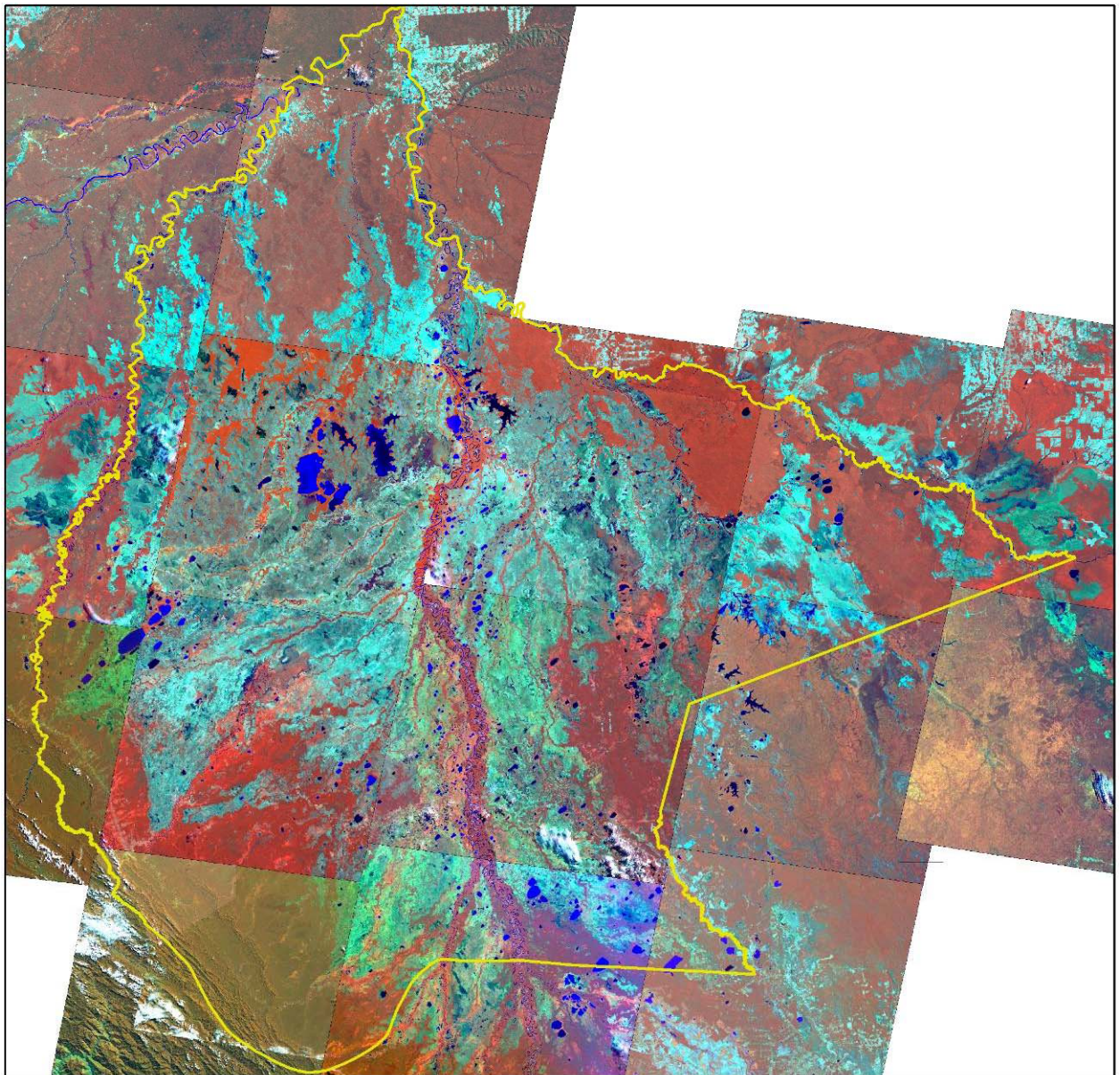
- Para el área de la escena Path/Row 232/71 se clasificó una imagen del 2009 porque no había disponible la imagen del año 2008.
- Para elegir las imágenes que serían utilizadas en la actualización de los sitios donde habría mayor probabilidad de deforestación entre el 2008 y 2009 se siguieron los siguientes criterios: principales centros urbanos, carreteras donde históricamente se da la mayor deforestación y nuevas áreas de colonización. Las imágenes actualizadas son las siguientes:

PATH	ROW	FECHA
232	070	20090731
233	067	20090908
233	068	20090908
233	070	20090604
001	070	20090915

### 3.2 Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra para el Departamento del Beni

El área del Departamento del Beni en imágenes satelitales Landsat 5 – 2008, en forma de mosaico, que fueron utilizadas para la elaboración del mapa final de cobertura y uso de la tierra.

**Fig. 5 Mosaico de imágenes de satélite Landsat**



El Mapa de Cobertura y Uso actual de la tierra resultante del análisis de las imágenes Landsat 5, con los distintos tipos de derechos de uso como: áreas protegidas, concesiones forestales, ASL´s,

**Fig. 6 Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Departamento del Beni en base a las imágenes Landsat clasificadas**



**Superficie de Unidades de Cobertura y Uso Actual de la Tierra  
del Departamento del Beni – 2008**

<b>Coberturas Naturales</b>	<b>Hectáreas</b>
Bosque	9,062,795
Matorral	1,328,046
Sabana	6,454,184
Otras Tierras	73,426
Humedal	411,947
Río	242,271
Laguna	386,122
Nube	17,445
Sombra	18,214
<b>Usos de la Tierra</b>	
Bosque intervenido	39,395
Barbecho	113,250
Uso agropecuario	174,889
Ganadería en pasto cultivado	52,751
Ganadería en sabana	1,281,890
Quemas	721,630
Área urbana	27,518
Minería	1,947
<b>Cambio de Cobertura entre 2008-2009</b>	
Cambio en Bosque entre 2008-2009	15,768
Cambio en Matorral entre 2008-2009	1,327

**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*.

## A N E X O S

**Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

---

**Personal Participante en el Proyecto**

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

**Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado**

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

Lic. Liséte Correa da Silva Jefe Departamento de Geografía e Informática	Coordinación Estudio
Lic. Liliana Soria	Análisis Información satelital Coord. Técnica
Lic. Belen Quezada	Análisis Información satelital Coord. Técnica
Lic. Verónica Calderón	Análisis Información satelital
Ing. Miki Calzadilla	Análisis Información satelital
Marcio Flores	Apoyo Técnico

**Fundación Amigos de la Naturaleza**

Lic. Denisse Quiroga	Coordinación Estudio
----------------------	----------------------

**Imágenes satelitales**

**LANDSAT 5 TM**

## Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni

---

### 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 a.m. (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.

### **Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

---

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 mas, 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 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 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.

**Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

---

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

**Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra del Departamento del Beni**

---

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).