

## Informe Final

# SIG y Mapeo de la Porción Alta de la Cuenca del Río Paraguay

Elaborado por:



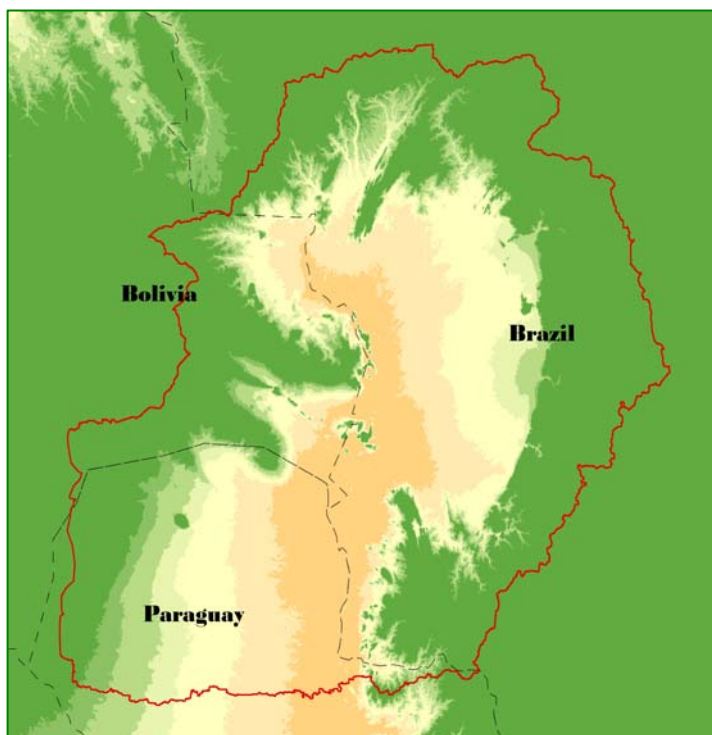
En Colaboración con:



Santa Cruz, 15 de junio 2009

# SIG y Mapeo de la Porción Alta de la Cuenca del Río Paraguay

*Información cartográfica base de la porción alta de la cuenca del Río Paraguay (Bolivia/Brasil/Paraguay), para la construcción de productos espaciales regionales*



## Equipo Técnico

Kathia Rivero  
Belen Quezada R.  
Jesus N. Pinto  
Samuel Sanguenza

Coordinadora  
Responsable de SIG  
Ecólogo de Paisaje  
Responsable Mapa de  
comunidades y atractivos turísticos

En colaboración con:



Santa Cruz, 15 de junio 2009

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO .....	ii
1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 MÉTODOS .....	2
2.1 Recopilación, análisis y sistematización de la información existente para el área de estudio .....	2
2.2 Elaboración de mapas temáticos .....	7
2.2.1 Mapa Político .....	7
2.2.2 Mapa Hidrográfico.....	7
2.2.3 Mapa de Áreas Protegidas.....	7
2.2.4 Mapa de Producción Agrícola y Producción Ganadera (porción boliviana).....	7
2.2.5 Mapa cambio de cobertura de la tierra .....	8
2.2.6 Mapa de Vegetación .....	9
2.2.7 Dinámica de inundación.....	17
3 RESULTADOS .....	19
3.1 Mapa Político .....	19
3.2 Mapa Hidrográfico.....	19
3.3 Mapa de Áreas Protegidas .....	19
3.4 Mapa Producción Ganadera (porción boliviana).....	19
3.5 Multi-temporal de Cambio de Cobertura de la Tierra.....	20
3.6 Mapa uso actual de la tierra.....	23
3.7 Mapa de Tenencia de Tierra.....	25
3.8 Mapa de Vegetación (Sistemas Ecológicos) .....	25
8.3.1 Coberturas identificadas .....	26
8.3.2 Leyenda explicativa de los sistemas ecológicos.....	30
3.9 Mapa de Dinámica de inundación.....	39
3.7.1 Inundaciones para los cinco años estudiados.....	40
3.7.1 Consideraciones finales.....	50
4 BIBLIOGRAFÍA .....	52

## **Resumen Ejecutivo**

La porción alta o superior de la cuenca del río Paraguay abarca un área de drenaje de aproximadamente 496.000 km<sup>2</sup>, de los cuales 71% se encuentra en Brasil y el resto en Bolivia y Paraguay (Dolabella 2000). El río Paraguay y sus diferentes afluentes alimentan el Pantanal y el río Paraná, que luego desemboca en el océano Atlántico. El Pantanal es un espacio de inundación variable que comprende alrededor de 150.000 km<sup>2</sup> y se encuentra aproximadamente en el centro geográfico de Sudamérica entre Brasil, Bolivia y Paraguay. El régimen de inundaciones en el Pantanal está influenciado por el río Paraguay, sus afluentes y los patrones de lluvia en la zona; variando de norte a sur; registrándose un máximo de inundaciones en febrero y marzo en el norte y dos o tres meses más tarde en el sur. Dependiendo del grado de inundación que se presente se pueden distinguir: sabanas, zonas inundadas, parches de bosque húmedo, bosque de galería y pantanos los mismos que actúan como una esponja que previenen las inundaciones.

Debido a su gran superficie el Pantanal es considerado el humedal de agua dulce más grande del mundo y uno de los ecosistemas más productivos y ricos; con fauna y flora características de regiones como la Amazonía, Cerrado, Chaco y Selva Atlántica, lo que contribuye significativamente a la riqueza de su diversidad biológica (Dinerstein *et al.* 1995; Olson & Dinerstein 1998; Olson *et al.* 2000, Swartz 2000). La conservación de todo este complejo es muy difícil, de esta manera los tres países en la actualidad conservan zonas discontinuas mediante diferentes mecanismos de protección (categorías II y IV de la UICN, sitio RAMSAR); identificándose la necesidad de contar con información básica (cartográfica) que ayude a mejorar las acciones de planificación, manejo y conservación en toda la cuenca de manera integrada. Es en este sentido, mediante el presente trabajo, se elaboró cartografía base de la porción alta de la cuenca del río Paraguay que integre a Brasil, Bolivia y Paraguay, a través del desarrollo de información geográfica normalizada en cuanto a escala, nomenclatura y formato, como una herramienta de planificación de la conservación y monitoreo de la evolución (cambio de uso) del paisaje del Pantanal; obteniéndose mapas temáticos (político, hidrográfico, áreas protegidas, producción agrícola y ganadera, cambio de cobertura de la tierra entre otros) para toda la cuenca y los modelos cartográficos de patrones de inundación (porción boliviana de la cuenca) a una escala establecida de 1:250.000; todo ello organizado y disponible en un SIG normalizado.

Del análisis de la tasa de deforestación se obtuvo que de 1991 al 2008, el área total deforestada asciende a 348.853 hectáreas (con un promedio de 21.803 Ha deforestadas por año), lo que equivale al 3,56% de la porción boliviana de la cuenca. Acerca de la dinámica de inundación para el periodo 2000-2002-2004-2006-2008; el mes de noviembre de 2002 (12,38 %) y febrero de 2008 (15%) registraron la mayor superficie inundada, siendo el año 2000 el que presentó la menor superficie de área inundada. Estos eventos de mayor o menor grado de inundación están directamente relacionados con la precipitación y muestran los patrones espaciales que se pueden dar en el área dependiendo se trate de un año seco o húmedo y sus implicancias para la disponibilidad de recursos en los distintos tipos de hábitat. Por tanto la planificación del desarrollo y gestión del Pantanal debe basarse en estas características ecológicas de modo tal que las actividades productivas y de desarrollo no afecten la variación estructural de los humedales y por ende la calidad de vida de las poblaciones locales actuales y futuras.

## **SIG Y MAPEO DE LA PORCIÓN ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO PARAGUAY**

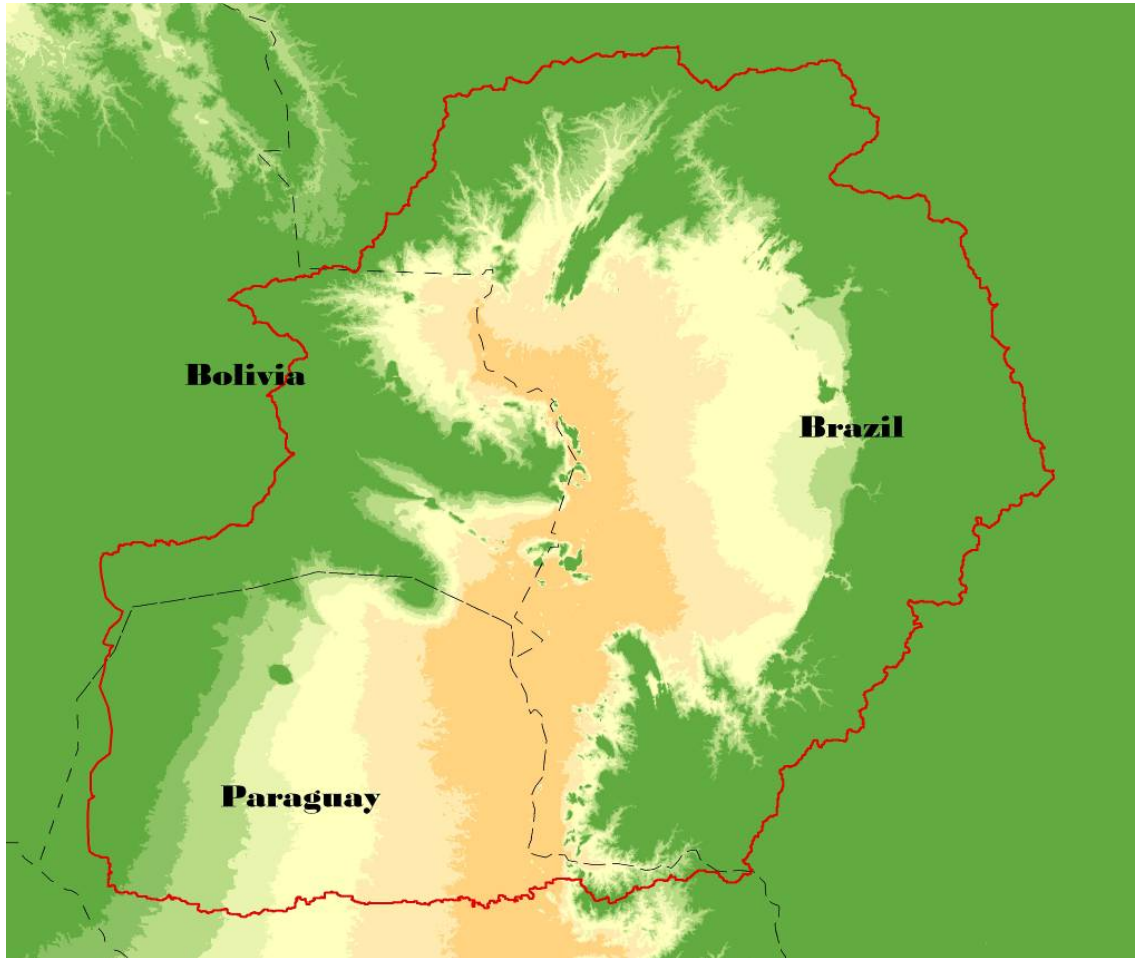
***Información cartográfica base de la porción alta de la cuenca del río Paraguay (Bolivia/Brasil/Paraguay), para la construcción de productos espaciales regionales***

### **1 Introducción**

La porción alta o superior de la cuenca del río Paraguay abarca un área de drenaje de aproximadamente 496.000 km<sup>2</sup>, de los cuales 71% se encuentra en Brasil y el resto en Bolivia y Paraguay (Dolabella 2000) (Figura 1). El río Paraguay y sus diferentes afluentes alimentan el Pantanal y el río Paraná, que luego desemboca en el océano Atlántico. Este río, sus afluentes y los patrones de lluvia en la zona promueven un espacio de inundación variable, que es el Pantanal. Este régimen de inundaciones varía de norte a sur; registrándose un máximo de inundaciones en febrero y marzo en el norte y dos o tres meses más tarde en el sur.

El Pantanal es una vasta planicie de inundación de la porción alta de la cuenca del río Paraguay y que comprende alrededor de 150.000 km<sup>2</sup>; se encuentra aproximadamente en el centro geográfico de Sudamérica entre Brasil, Bolivia y Paraguay (12°,24°S y 55°,65°W). Tiene una marcada estacionalidad y dependiendo del grado de inundación que se presente se pueden distinguir: sabanas, zonas inundadas, parches de bosque húmedo, bosque de galería y pantanos que actúan como una esponja que previenen las inundaciones. Cerca del 73% de la superficie del Pantanal (110.000 km<sup>2</sup>) consiste en humedales (Scott & Carbonell 1986), lo que lo convierte en el humedal de agua dulce más grande del mundo (Olson & Dinerstein 1998), además de formar parte de la red de lagos vivientes (Global Nature Fund 2004 y 2008) y ser uno de los ecosistemas más productivos y ricos; con fauna y flora características de regiones como la Amazonía, Cerrado, Chaco y Selva Atlántica (Dinerstein *et al.* 1995, Olson *et al.* 2000, Swartz 2000), lo que contribuye significativamente a la riqueza de su diversidad biológica.

Debido a su gran superficie la conservación de todo el complejo es muy difícil, de esta manera los tres países en la actualidad conservan zonas discontinuas mediante diferentes mecanismos de protección (categorías II y IV de la UICN, sitio RAMSAR); identificándose la necesidad de contar con información básica (cartográfica) que ayude a mejorar las acciones de planificación, manejo y conservación en toda la cuenca de manera integrada. Es en este sentido, mediante el presente trabajo, se tiene el objetivo de elaborar cartografía base de la porción alta de la cuenca del río Paraguay, que integre a Brasil, Bolivia y Paraguay, a través del desarrollo de información geográfica normalizada en cuanto a escala, nomenclatura y formato, como una herramienta de planificación de la conservación y monitoreo de la evolución (cambio de uso) del paisaje del Pantanal. A continuación se desarrolla la información recopilada y generada; haciendo una descripción de los métodos empleados en la elaboración de los mapas temáticos para toda la cuenca y los modelos cartográficos de patrones de inundación (porción boliviana de la cuenca) a una escala establecida de 1:250.000; todo ello organizado y disponible en un SIG normalizado, así como también una descripción de los resultados obtenidos en base a los análisis realizados.



**Figura 1.** Área de la porción alta de la cuenca del río Paraguay; donde el gradiente de colores, de amarillo a naranja, muestran las áreas de menor a mayor depresión del terreno.

## **2 Métodos**

El presente estudio se basó en el procesamiento, análisis y compatibilización de información geográfica, mediante el uso de imágenes satelitales e información temática existente de la región en Bolivia, Brasil y Paraguay. Para el óptimo desarrollo del proyecto desde el inicio las principales actividades y métodos empleados fueron coordinadas con WWF-Bolivia (financiado), con la Empresa Brasileira de Investigación Agrícola (EMBRAPA) y posteriormente con WWF-Brasil; las mismas que a continuación son descritas.

### **2.1 Recopilación, análisis y sistematización de la información existente para el área de estudio**

Las fuentes revisadas y disponibles de información fueron:

- **Información disponible en la WEB:**
  - <http://www.ana.gov.br/gefap>
  - <http://www.ducks.org/Conservation/International>
  - <http://gis.ducks.org/PantanalProject/mapviewer.jsf>

- <http://mrtweb.cr.usgs.gov/ImgViewer/Java2ImgViewer.html>
- <http://rangeland.tamu.edu/bolivia/>
- [https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get\\_data/mrtweb](https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get_data/mrtweb)

▪ **Información disponible en la base de datos del Museo Noel Kempff:**

- Base de datos de imágenes satelitales Landsat,
- Base de datos de información vectorial a distintas escalas,
- Mapa de Vegetación de Bolivia (1:250.000) (Navarro y Ferreira, 2007),
- Planificación Ecorregional del Bosque Seco Chiquitano (FCBC-TNC, 2005),
- Análisis de Aspectos Geofísicos y Biológicos para la Conservación del Bosque Chiquitano (MHNNKM, 2001),
- Cobertura y uso actual de la tierra para el Departamento de Santa Cruz año 2005.

**Tabla 1. Información temática utilizada para los mapas de la cuenca de la parte boliviana.**

COBERTURA	FORMATO	ESCALA
Centros poblados	Shapefile	1: 250.000
Límites municipales	Shapefile	1: 250.000
Límites provinciales	Shapefile	1: 250.000
Caminos	Shapefile	1: 250.000
Ferrocarril	Shapefile	1: 250.000
Gasoducto	Shapefile	1: 250.000
Concesiones mineras	Shapefile	1: 250.000
Concesiones forestales	Shapefile	1: 500.000
RPPN y ASL	Shapefile	1: 500.000
Áreas protegidas	Shapefile	1: 250.000
Cuenca, Subcuenca	Shapefile	1: 500.000
Hidrografía	Shapefile	1: 250.000
TCO	Shapefile	1: 250.000
Mapa de coberturas naturales 2006	Grid/IMG	1:250.000
Producción agrícola y ganadera	Grid/IMG	1:250.000
Mapa de cambio de coberturas naturales 2008	Grid/IMG	1: 250.000

RPPN: Reservas privadas de patrimonio natural  
 ASL: Asociaciones sociales de lugar

**Tabla 2. Información raster y vectorial de Brasil facilitada por EMBRAPA.**

PRODUCTO	FORMATO	ESCALA
Mapa de cobertura de ríos o drenaje de la porción brasilera de la cuenca	Shapefile	1: 250.000
Límites de Pantanal	Shapefile	1: 250.000
Mapa de suelos de la porción brasilera de la Cuenca	Shapefile	1: 250.000
Mapa de Vegetación de la porción brasilera de la cuenca	Shapefile	1: 250.000

▪ **Información facilitada por WWF-Bolivia**

WWF proporcionó información generada y recopilada por ellos y otras instituciones como: EMBRAPA, Agencia Nacional de Águas - ANA, Reservas Particulares do Patrimônio Natural do Mato Grosso do Sul - REPAMS, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, Secretaria de Meio Ambiente do Mato Grosso – SEMA/MT, Programa Nacional de Meio Ambiente - PROBIO/MMA, IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), FUNAI – Fundação Nacional do Índio, Instituto de Pesquisas Hidrológicas (IPH).

**Tabla 3. Información proporcionada por WWF para la parte brasilera de la cuenca.**

NOMBRE DEL ARCHIVO	FUENTE	ESCALA	AÑO	COBERTURA ESPACIAL
eropot	PCBAP	1:250.000	1997	BR
ptn_aneel_cgh_operacao_bacia_pantaneira_bra	ANEEL		2005	BR
ptn_aneel_cgh_outorga_construcao_bacia_pantaneira_bra	ANEEL		2005	BR
ptn_aneel_cgh_operacao_represas_bacia_pantaneira_bra	ANEEL		2005	BR
ptn_aneel_pch_operacao_bacia_pantaneira_bra	ANEEL		2005	BR
ptn_aneel_uhe_operacao_bacia_pantaneira_bra	ANEEL		2005	BR
ptn_aneel_uhe_outorga_construcao_bacia_pantaneira_bra	ANEEL		2005	BR
ptn_aneel_pch_outras_fases_bacia_pantaneira_bra	ANEEL		2006	BR
ptn_embrapa_desmat2000_bioma_pantanal_bra	Embrapa Pantanal		2000	BR
ptn_fazendas_bioma_pantanal_bra	Embrapa		1952	BR
ptn_embrapa_principais_rios_bioma_pantanal_bra	Embrapa Pantanal		2000	BR
ptn_embrapa_estradas2000_bioma_pantanal_bra	Embrapa Pantanal		2000	BR, BO, PY
mosaico.img	Embrapa Pantanal		2000	BR
ptn_ecorreg_pantanal_bra_bol_par	IPH		2006	BR, BO, PY
ptn_iph_rios_bacia_pantaneira_bra_bol_par	IPH		2006	BR, BO, PY
ptn_iph_subbacias_pantaneiras_bra_bol_par	IPH	1:250.000	2006	BR, BO, PY
ptn_iirsa_projetos_desenvolvimento_bacia_pantaneira_bra_bol_par	IPH		2006	BR, BO, PY
ptn_iph_bacia_pantaneira	IPH		2006	BR, BO, PY
ptn_iph_municipios_par/ptn_iph_municipios_bol/ptn_iph_municipios_bra	IPH		2006	BR, BO, PY
ptn_iph_rodovias_par/ptn_iph_rodovias_bol/ptn_iph_rodovias_bra	IPH		2006	PY
mnt_pantanal	IPH		2006	BR, BO, PY
ptn_desmat_bacia_pantaneira_bra	PCBAP		1997	BR
ptn_ecorreg_pantanal_bra	WWF		2001	BR
ptn_ecorreg_bacia_pantaneira_bra	WWF		2001	BR
ptn_ecorreg_bacia_pantaneira_bra_bol	WWF			BR, BOL
ptn_ibge_prod_soja_2002_munic_bap	IBGE		2002	BR
ptn_nascentes_bacia_pantaneira_mt	WWF-Brasil		2006	BR
ptn_principais_rios_bacia_pantaneira_bra				BR

NOMBRE DEL ARCHIVO	FUENTE	ESCALA	AÑO	COBERTURA ESPACIAL
ptn_rios_bacia_pantaneira_bol	WWF-Bolivia			BO
ptn_municipios_bacia_pantaneira_bra	IBGE	1:5.000.000	2001	BR
ptn_municipios_bacia_pantaneira_bra_bol_par	IBGE e WWF-Bol			BR, BO, PY
ptn_limites_bacia_pantaneira_bra_bol_par	ANA			BR, BO, PY
ptn_probio_bacia_pantaneira_bra	PROBIO/MMA		1999	BR
ptn_sitiosramsar_bacia_pantaneira_bra_bol				BR, BOL
ptn_reserva_biosfera_pantanal	UNESCO		2002	BR
ptn_estradas_bacia_pantaneira_bra				BR
ptn_estradas_bacia_pantaneira_bra_bol				BR, BOL
ptn_sedes_municipais_bacia_pantaneira_bra	IBGE		2001	BR
ptn_sedes_municipais_bol	WWF-Bolivia			BO
ptn_sedes_municipais_bacia_pantaneira_bra_bol	IBGE e WWF-Bol			BRA, BOL
ptn_ucs_bacia_pantaneira_bra_bol_par, ptn_ucs_bacia_pantaneira	Diversas		2006	BR, BO, PY
ptn_terrass_indigenas_bacia_pantaneira_bra_bol	FUNAI		2006	BR, BOL
ptn_rppn_bacia_pantaneira_bra	REPAMS			BR
ptn_rppns_bacia_pantaneira_bra_pts	REPAMS			BR
fragilid	PCBAP	1:250.000	1997	BR
geologiapol/geologialin/geologiapt	PCBAP	1:250.000	1997	BR
geomorfopol/geomorfolin/geomorfopt	PCBAP	1:250.000	1997	BR
hil	PCBAP	1:250.000	1997	BR
rnat	PCBAP	1:250.000	1997	BR
rod	PCBAP	1:250.000	1997	BR
solos	PCBAP	1:250.000	1997	BR
uso	PCBAP	1:250.000	1997	BR
veg	PCBAP	1:250.000	1997	BR
ptn_inpe_cana_ms_2006	INPE		2006	MS/BR
ptn_inpe_cana_ms_2005	INPE		2005	MS/BR
ptn_inpe_cana_mt_2005	INPE		2005	MT/BR
ptn_inpe_cana_mt_2006	INPE		2006	MT/BR
ptn_ana_subbacias_pantaneiras_nivel2_bra	ANA		2007	BR
ptn_ana_subbacias_pantaneiras_nivel3_bra	ANA		2007	BR
ptn_probio_novas_areas_prioritarias_2007	PROBIO/MMA		2007	BR
ptn_bacia_pantaneira	IPH			
ptn_sema_mt_zoneamento_bacia_pantaneira	SEMA-MT			

#### ▪ Selección de imágenes y Adquisición de datos

Imágenes satelitales fueron seleccionadas siguiendo criterios espaciales y temporales, con el propósito de facilitar los análisis. Estas imágenes posteriormente fueron almacenadas en una base de datos temporal (tabla 4) para su uso posterior. La selección de las imágenes satelitales se basó principalmente en relación a la escala de trabajo y los resultados a obtener. En este sentido, se seleccionaron imágenes Landsat TM y ETM+ para elaborar los mapas de vegetación, coberturas (naturales y antrópicas) y cambio de uso de la tierra, uso actual de la tierra, producción agrícola y ganadera.

**Tabla 4. Imágenes Landsat TM y ETM+ seleccionadas y almacenadas en la base de datos temporal.**

Imágen	Proyección y Datum	Formato Original	Formato almacenado	Año
p227r072	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2008
p227r073	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2008
p227r074	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2008
p228r071	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2008
p228r072	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2008
p228r073	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2008
p229r071	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2008
p229r072	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2008
p229r073	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2008

Otro tipo de imágenes fueron seleccionadas para el análisis de dinámicas de inundación temporal, como es el caso de las imágenes MODIS terra/aqua. Este tipo de imágenes fueron seleccionadas ya que son adecuadas para la detección rápida de cambios en el paisaje a corto plazo; así mismo estas imágenes son de más fácil adquisición.

**Tabla 5. Imágenes MODIS terra/aqua seleccionadas y almacenadas en la base de datos temporal.**

Imágen	Proyección y Datum	Formato original	Formato de almacenado	Mes	Año
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Febrero	2000
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Junio	2000
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Noviembre	2000
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Febrero	2002
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Junio	2002
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Noviembre	2002
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Febrero	2004
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Junio	2004
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Noviembre	2004
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Febrero	2006
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Junio	2006
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Noviembre	2006
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Febrero	2008
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Junio	2008
MODIS terra y aqua H12V10	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Noviembre	2008
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Febrero	2000
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Junio	2000
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Noviembre	2000
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Febrero	2002
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Junio	2002
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Noviembre	2002

Imágen	Proyección y Datum	Formato original	Formato de almacenado	Mes	Año
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Febrero	2004
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Junio	2004
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Noviembre	2004
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Febrero	2006
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Junio	2006
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Noviembre	2006
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Febrero	2008
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Junio	2008
MODIS terra y aqua H12V11	UTM zona 21 sur, WGS 84	HDF	Img	Noviembre	2008

## **2.2 Elaboración de mapas temáticos**

Los mapas temáticos se han elaborado en base a la información existente para Bolivia Brasil y Paraguay. A continuación se describen los mapas elaborados, los cuales tienen como información básica los límites provinciales y/o municipales y los límites de la cuenca. Las coberturas raster usadas en los mapas, por corresponder a Bolivia, están con proyección UTM zona 21 Sur; las coberturas vectoriales se encuentran en Coordenadas Geográficas, por estar compatibilizadas para los tres países. Ambos tipos de cobertura tienen el Datum WGS 84 y Esferoide WGS 84.

### **2.2.1 Mapa Político**

Información base: Para el lado brasilero, IBGE y para Bolivia, Ministerio de Desarrollo Sostenible.

Límite de cuenca: Para toda el área de estudio (Bolivia, Brasil y Paraguay) se usó la cobertura proporcionada por ANA-agencia Nacional de Aguas de Brasil.

### **2.2.2 Mapa Hidrográfico**

Información base: IBGE y Ministerio de Desarrollo Sostenible-Bolivia

Límite de cuenca: ANA- Agencia Nacional de Aguas

Ríos y límite de subcuencas: Instituto de Pesquisa Hidrológica - IPH.

### **2.2.3 Mapa de Áreas Protegidas**

Información base: Proporcionada por IBGE para el lado brasilero y el Ministerio de Desarrollo Sostenible para el lado boliviano.

Límite de cuenca: El límite usado para toda el área ha sido proporcionado por ANA-Agencia Nacional de Aguas de Brasil.

Áreas Protegidas: SNAP, 2007. Para el lado brasilero, no existe la fuente de información

### **2.2.4 Mapa de Producción Agrícola y Producción Ganadera (porción boliviana)**

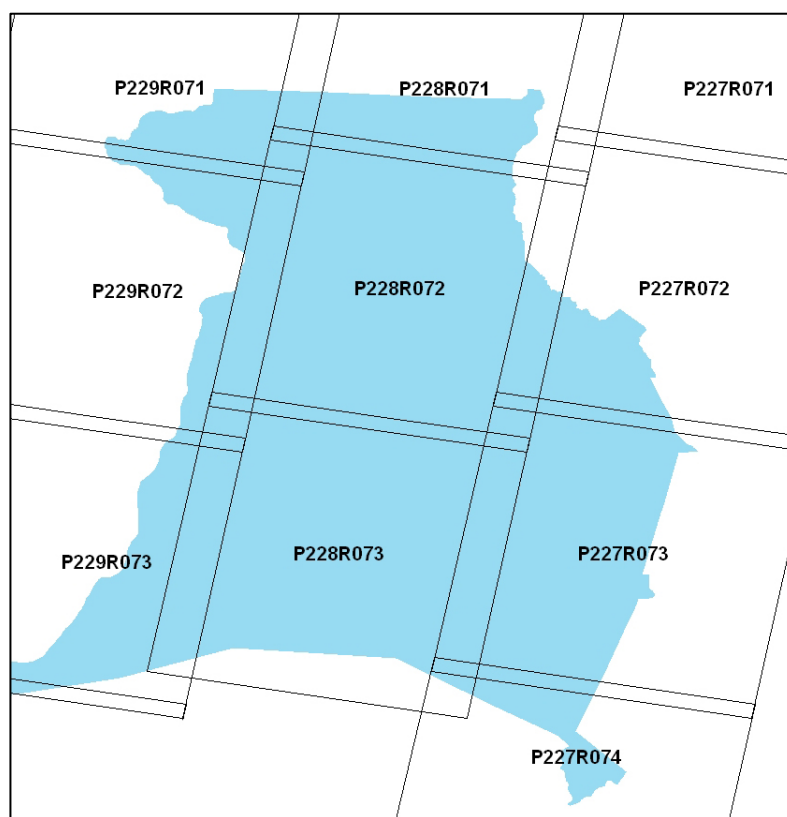
Para la realización del mapa de "Producción Ganadera" se utilizó como línea base el Mapa de Uso Actual de la Tierra elaborado para DIORTECU-PLUS con imágenes satelitales Landsat del año 2005, actualizado en base al análisis de 9 imágenes Landsat 5

del año 2008; incorporándose también información del 2008 sobre producción ganadera con fuente de FEGASACRUZ.

Debido a que en la porción boliviana de la cuenca solo existe agricultura de subsistencia y no es posible identificarla en las imágenes de satélite por la relación existente entre el tamaño del píxel de la imagen y el tamaño de las propiedades, fue imposible el mapeo de la producción agrícola. Además solo se consiguió recopilar información acerca de la superficie por rubro a nivel departamental, no así por región, municipio o comunidad, en las diferentes instituciones del medio que se relacionan al tema.

### **2.2.5 Mapa cambio de cobertura de la tierra**

El Museo Noel Kempff Mercado utiliza principalmente técnicas de sensoramiento remoto y sistemas de información geográfica para el monitoreo de los cambios de cobertura de la tierra; para la porción boliviana de la cuenca se utilizó como línea base el mapa de cambio de cobertura del periodo 1991/2001 realizado por el Museo. A esta información se añadió lo realizado para DIORTECU/PLUS del año 2005 además del producto del proyecto “Estudio sobre el impacto de los cambios en el uso del suelo en la economía del Departamento de Santa Cruz y la porción alta de la cuenca del río Paraguay en particular” ejecutado por el Museo NKM y financiado por WWF, con imágenes satelitales Landsat del año 2006. Este mapa fue actualizado en base al análisis de 9 imágenes Landsat 5 del año 2008 (Figura 2). Este producto no ha sido compatibilizado con información de la porción brasilera ni paraguaya de la cuenca debido a que no se ha tenido acceso a dicha información en estos países.



**Figura 2. Escenas Landsat 5, año 2008 que fueron utilizadas.**

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

### **Cálculo de la tasa anual de deforestación**

La deforestación es uno de los problemas ambientales más importantes a escala global, lo que ha llevado a que se realicen numerosos esfuerzos para cuantificarla. En este trabajo se cuantificó la deforestación a través de la “Tasa Anual de Deforestación” que es un indicador de la magnitud de dicho proceso que no considera otros tipos de cambio en la cobertura forestal, como la regeneración, la fragmentación de bosques y otros. La Tasa Anual de Deforestación ha sido utilizada en numerosas oportunidades para analizar los cambios de cobertura forestal, sin embargo, las diferencias en la escala de análisis, los períodos de tiempo considerados y los procedimientos aplicados no siempre permiten que los resultados de distintos estudios sean comparables.

Una de las formas más intuitivas y comunes de expresar la deforestación es como la proporción (en %) de la superficie de bosque presente al inicio de un determinado período continúa siendo bosque al final del período analizado. Otra forma de expresar la deforestación, es como una proporción de la superficie total del área de análisis, corresponda o no a superficies de bosque (por ejemplo el % deforestado de la superficie total de una provincia) (Steininger *et al.*, 2001). Como fuera mencionado anteriormente usamos la metodología de Tasa Anual de Deforestación propuesta por Puyravaud (2003), la cual es una expresión de interés compuesto (ver fórmula) ya que la misma tiene un significado matemático y biológico. Por otro lado, (r) no subestima la tasa anual de deforestación cuando los cambios son muy grandes y acelerados.

$$r = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \times \ln \frac{A_2}{A_1}$$

Fórmula usada para el cálculo de la tasa anual de deforestación, donde:

r= tasa anual de deforestación

t1= año al inicio del periodo de estudio

t2= año al final del periodo de estudio

A1= superficie de las coberturas naturales al inicio del periodo de estudio

A2= superficie de las coberturas naturales al final del periodo de estudio

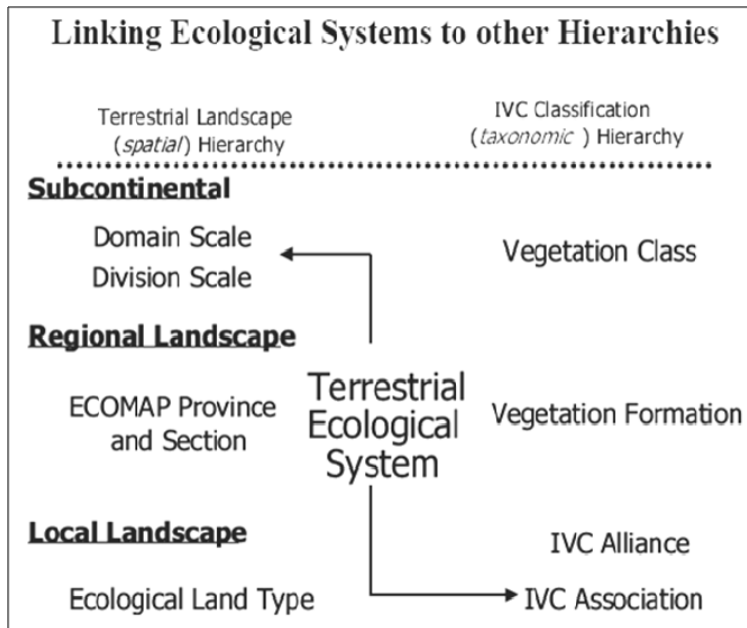
### **2.2.6 Mapa de Vegetación**

La elaboración de un mapa de vegetación se basa en el supuesto de que se puede caracterizar comunidades vegetales como unidades naturales según su fisonomía y composición florística. Las comunidades vegetales son un reflejo de las características ambientales, incluyendo clima, suelos, regímenes hídricos y otros factores ambientales. Asimismo la variación en la estructura y composición entre dos sitios es un reflejo del

conjunto de estos factores. Así como la vegetación proporciona gran parte de la arquitectura de la mayoría de un hábitat, también influye sobremanera en la formación de la comunidad faunística. Consecuentemente, un buen mapa de vegetación proporciona información resumida y gráfica sobre los paisajes, ecosistemas y biodiversidad (Hueck & Siebert 1988). Por esta razón, los mapas de vegetación son instrumentos importantes en la gestión de los paisajes en general.

La conservación de la diversidad requiere un entendimiento de la distribución y abundancia de los componentes de dicha diversidad, es en este sentido que en el mundo natural están directamente relacionadas la variedad de los componentes naturales y las escalas ecológicas (desde genes y especies, a comunidades naturales, ecosistemas locales y paisajes). Es por eso que la necesidad de establecer un sistema adecuado de clasificación de la vegetación de manera práctica y a escala mediana que sirva para una adecuada planificación de los sistemas naturales, hace que en este estudio se utilice el sistema de clasificación por “**SISTEMAS ECOLÓGICOS**”.

*Un Sistema Ecológico, o ecosistema, se define como una unidad (un biosistema) que incluye todos los organismos (comunidad biótica) en un área determinada que interactúan con el ambiente físico, siendo las dinámicas de las estructuras bióticas, los ciclos de nutrientes claramente definidos entre las partes vivas y no vivas del sistema. Un ecosistema es más que una unidad geográfica (o ecorregión), es un sistema funcional con entradas y salidas, y con límites que pueden ser naturales o arbitrarios.*



**Figura 3. Criterio general por el cual se selecciono los “Sistemas Ecológicos” para la clasificación de la vegetación de la porción boliviana de la porción alta de la cuenca del río Paraguay.**

### ***La escala de los Sistemas Ecológicos***

El ecosistema en principio, es definido como cualquier escala geográfica, desde una raíz hasta toda la biosfera. Típicamente el rango de trabajo es de <10 hasta 1.000.000s de hectáreas. Esto también puede variar en la definición de la estabilidad natural, desde anual hasta un miles de años (Delcourt y Delcourt 1988). Recientes sistemas de clasificación o regionalización usan la aproximación de geo-ecosistemas que definen series de escalas espaciales, desde un amplio rango ecoregional hasta micro-ecosistemas o tipos de coberturas de superficie igual a decenas de hectáreas.

La expectativa de estas unidades es que deben ser estables en orden de cientos de años. Para las aproximaciones funcionales se trabaja con una variedad de escalas espaciales y temporales, dependiendo de los procesos estudiados en un sitio dado. En este sentido, el orden de desarrollar los sistemas ecológicos, el principal enfoque es saber cuál es la necesidad que se resolverá con el trabajo.

### ***Sistemas Ecológicos Terrestres: Base conceptual***

Un sistema ecológico terrestre es definido como un grupo de tipos de comunidades de plantas que tienden a ocurrir en un paisaje con similares procesos ecológicos, sustratos, y/o gradientes medio-ambientales. Un sistema ecológico terrestre, puede manifestarse mediante escalas geográficas de decenas a miles de hectáreas y persistir por más de 50 años. Los procesos ecológicos incluyen disturbios naturales como los pulsos de fuego-inundación. Los sustratos pueden incluir una variedad de superficies de suelos, rocas, material parental. Finalmente, los gradientes medio-ambientales incluyen climas locales, hidrología definido por los patrones temporales, o zonas en distintos pisos altitudinales.

El desarrollo de una aproximación de los sistemas ecológicos, debe contemplar los siguientes parámetros: i) escala explícita, ii) variabilidad, iii) sostenibilidad y estabilidad local, y iv) procesos poblaciones como dinámicas de los sistemas. En este sentido el concepto de Sistemas Ecológicos es:

1. Escala explícita de unidad a representar, en muchos casos:
  - a) Escalas espaciales de decenas a miles de hectáreas
  - b) Escalas temporales de 50 a cientos de años
2. Variabilidad en el sistema, descrito en términos de una consistente lista de criterios abióticos y bióticos y unión de los sistemas ecológicos a las comunidades vegetales
3. Sostenibilidad a largo plazo y estabilidad local por mapeo y evaluación de la ocurrencia de los sistemas ecológicos desde nivel local a nivel regional.
4. Al menos se debe describir las mayores asociaciones de comunidades vegetales y sus dinámicas en los sistemas.



**Figura 4. Diagnóstico de clasificación, categorías y ejemplos.**

#### *Adquisición de datos digitales*

Para tener una primera aproximación sobre las diferencias de las características fenotípicas del área de estudio, se seleccionaron imágenes satelitales Landsat TM para la porción alta de la cuenca del río Paraguay para dos periodos (primavera y otoño) del año 2000 y 2005 (tabla 6), considerando que las imágenes coincidieran con cualquier mes de las épocas mencionadas. Las imágenes satelitales correspondientes al año 2000 se adquirieron gratuitamente de la Colección de datos Landsat de la Nasa (NLDC) (<http://eros.usgs.gov/products/satellite/nldc.php>) y las imágenes del año 2005 fueron obtenidas de la base de datos del Departamento de Geografía e Informática del Museo Noel Kempff. Todas las imágenes fueron referenciadas bajo la proyección WGS 84 y UTM zona 21 sur y tienen una resolución espacial de 30 metros e incluyen 6 bandas que reflejan el espectro electromagnético, con rangos desde visible a infra-rojo y una banda termal.

Imágenes satelitales fueron seleccionadas y guardadas en una base de datos temporal; la cual consiste en el almacenaje de datos de información espacial dentro de una carpeta que facilite su acceso para su posterior trabajo. La selección de imágenes satelitales se basó principalmente en la escala de trabajo y los resultados a obtener. En este sentido, se seleccionaron imágenes Landsat TM para elaborar los mapas de vegetación.

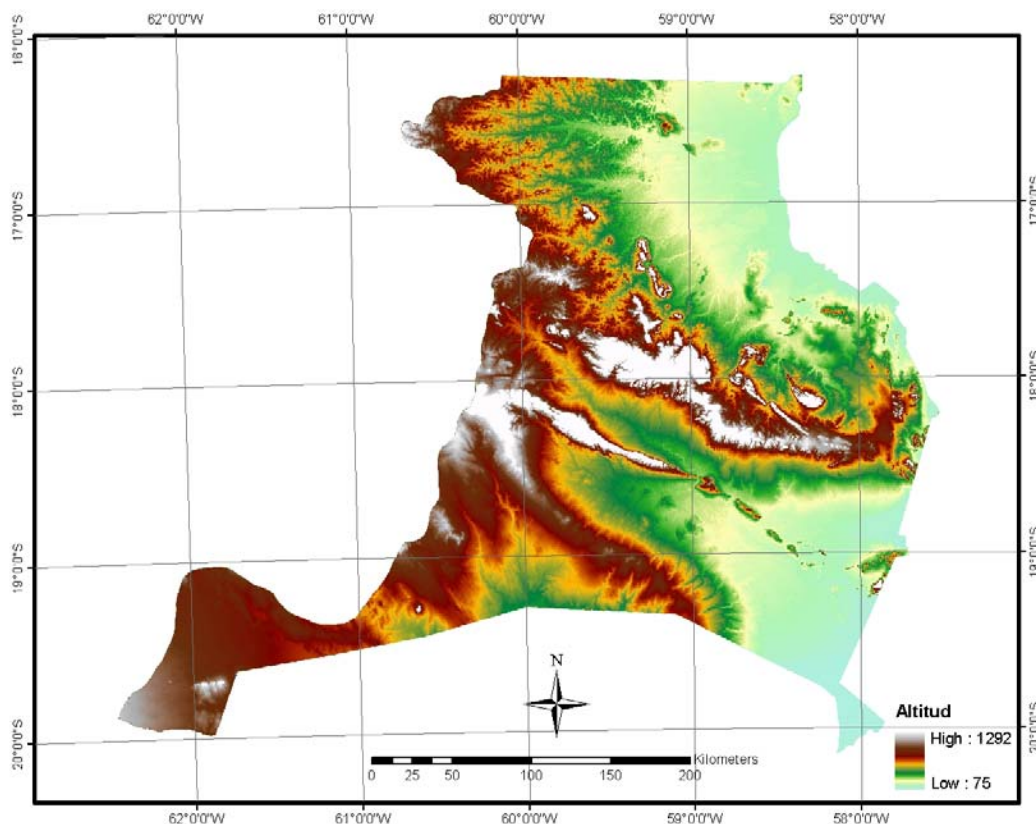
**Tabla 6. Imágenes Landsat TM seleccionadas y usadas para la elaboración del mapa de vegetación, las mismas fueron almacenadas en la base de datos temporal.**

Imágen	Proyección y Datum	Formato Original	Formato almacenado	Año
p227r072	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2005
p227r073	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2005
p227r074	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2005
p228r071	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2005
p228r072	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2005
p228r073	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2005
p229r071	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2005
p229r072	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2005
p229r073	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2005
p230r073	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2005
p230r074	UTM zona 21 sur, WGS 84	GeoTiff	Img	2005

Aunque el área de estudio se caracteriza por ser generalmente plana, también presenta ondulaciones lo cual determina y permite el flujo hídrico. Por otro lado, presenta algunas serranías de considerable superficie y altitud; en este sentido se utilizaron modelos de elevación digital (DEMs) que fueron adquiridos de manera gratuita de la página WEB del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia (<http://rangeland.tamu.edu/bolivia/>), los cuales fueron registrados bajo una resolución espacial horizontal similar a las de las imágenes Landsat (30 m). Estos DEMs (figura 4) fueron usados para mejorar la clasificación de clases que muchas veces son difusas o se confunden de sabanas a serranías, debido a que cualquier clasificación de la vegetación está sujeta a la introducción de errores debido a los fenómenos naturales y accidentes topográficos, puesto que siempre existen clases compuestas de píxeles espectralmente similares pero que pertenecen a distintas unidades ecológicas.

#### ***Adquisición de datos de campo***

Los datos de campo fueron colectados en distintos estudios del Museo NKM, como el de Análisis de Aspectos Geofísicos y Biológicos para la Conservación del Bosque Chiquitano (2001), Diagnóstico Biológico del Municipio de San Matías (2008) y otros más puntuales realizados en la zona de las Serranías Sunsas en el año 2003; en los que principalmente se caracterizaron las comunidades y formaciones vegetales abarcando una gran superficie del área de estudio. Se colectaron datos en 120 sitios, localizados principalmente cerca de caminos o lugares de fácil acceso. Los principales datos tomados en cuenta para el estudio fueron los siguientes: i) tipo de vegetación, ii) grado de anegación, iii) accesibilidad, iv) tipo principal de suelo, v) actividad humana, vi) fauna relevante. En cada sitio de muestro se tomo coordenadas geográficas (puntos de GPS). Estos datos fueron usados como base para establecer áreas de entrenamiento para la clasificación supervisada llevada a cabo. Es importante mencionar que debido a la gran superficie del área de estudio no se pudieron visitar distintas zonas para su correspondiente colecta de datos, para lo cual se utilizó información secundaria como otros mapas de vegetación a distintas escalas.



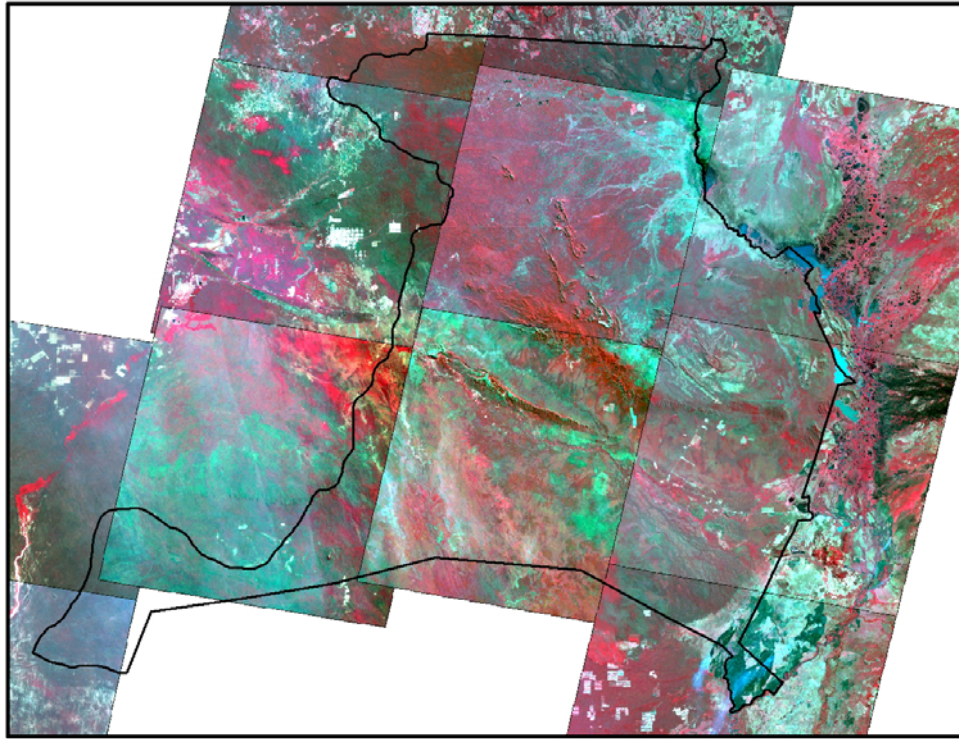
**Figura 5. Modelo de Elevación Digital (DEM) correspondiente a la porción boliviana de la cuenca alta del río Paraguay. Fuente: Elaboración propia.**

### *Clasificación de imágenes satelitales*

Una vez definidos los sistemas ecológicos se procedió a la clasificación de las imágenes satelitales (figura 6). Las imágenes satelitales usadas para la clasificación fueron Landsat TM, que registran la intensidad de reflexión de la radiación solar desde la Tierra hacia el espacio. El procesamiento de los datos digitales fue realizado bajo una clasificación híbrida que consiste en primera instancia una clasificación no supervisada y en segunda una supervisada. El fundamento para la interpretación de las imágenes reside en tendencias entre áreas con el mismo tipo de vegetación al tener las mismas reflexiones espectrales, siendo que la reflexión solar depende de las características fisonómicas de cada tipo de vegetación, tales como: espesura de la masa verde, grado de caducifolia, densidad de tallos leñosos, heterogeneidad del dosel, color del suelo, humedad del suelo y la presencia de agua superficial sobre el suelo.

En base a lo anterior, una clasificación digital es un predictor confiable de los hábitats en alguna localidad específica, pero, en algunos casos hacen falta datos que confirmen la precisión de ciertas comunidades vegetales, debido a que estas difieren en su composición florística y que en muchos casos pueden tener estructura y características espectrales similares. Para la clasificación de las imágenes se utilizó una combinación de bandas de Landsat TM: 2 (verde), 3 (rojo), 4 (infrarrojo cercano), 5 (infrarrojo media) y 6 (infrarrojo media). Como mencionado anteriormente la clasificación utilizada fue la híbrida

debido a que no se contaba con datos para gran superficie del área de estudio, debido a esto se utilizó el mapa de vegetación generado para toda Bolivia por Navarro y Ferreira (2007) a escala 1:250.000 como base de la clasificación.



**Figura 6. Mosaico de imágenes Landsat TM utilizado en el mapeo de los Sistemas Ecológicos para la parte Boliviana de la Porción alta de la cuenca del río Paraguay. Combinación de bandas en color verdadero 4-3-2.**

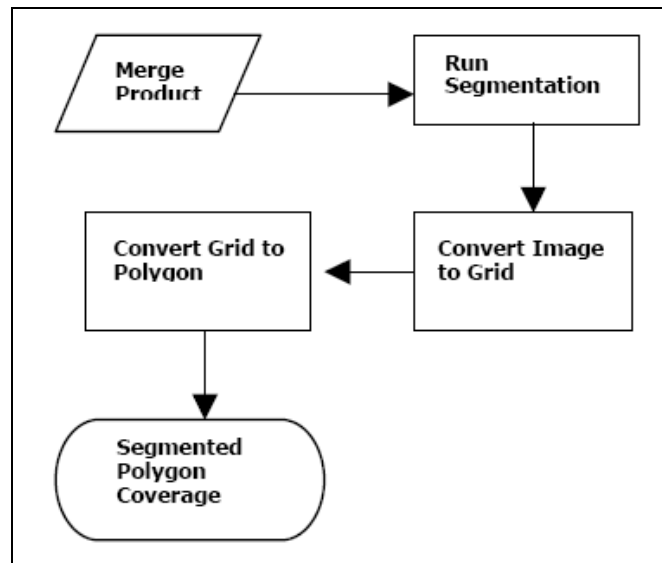
Los datos obtenidos en base a los datos de campo sirvieron para crear áreas de entrenamiento, procurando que cada área de entrenamiento tenga un número mínimo de 70 píxeles (*sensu* Eastman), los cuales sirvieron para identificar y elaborar firmas espectrales correspondientes para cada tipo de vegetación identificado en campo (Pinto 2009). Para esto se utilizaron imágenes satelitales (figura 6) correspondientes a la época seca, época en la cual se facilita la identificación de coberturas vegetales. También se hizo uso de los programas Google Earth y ArcGis Explorer, para facilitar la identificación de los tipos de vegetación. Dichas imágenes fueron geo-refenciadas con un RMS error de 0.03, utilizando el sistema de coordenadas UTM, Datum WGS 84, y zona 21 sur.

Para la elaboración de las firmas espectrales se utilizó una combinación de bandas de color verdadero 4 (rojo), 3 (verde) y 2 (azul) que facilitan el reconocimiento de áreas inundadas y tipos de vegetación, facilitando de esta manera la elaboración de las firmas espectrales por tipo de vegetación. Para esto se utilizó el módulo Classifier-Unsupervised Classification del programa Erdas Imagine v9.2 (Leica Geosystems 2008), realizando de esta manera una clasificación no supervisada, con la producción de 150 clases y 10 iteraciones, que luego fueron agrupadas en clases principales de Bosques, sabanas secas, sabanas inundables, cuerpos de agua, y áreas con intervención humana. Erdas

Imagine v9.2, fue el programa seleccionado ya que el mismo facilita la manipulación y realce de las imágenes satelitales y el procesamiento de datos.

Para determinar los Sistemas Ecológicos sobre las imágenes satelitales se usaron las mismas imágenes satelitales usadas anteriormente. Este proceso se realizó usando todos los puntos de colectados en los censos para crear las áreas de entrenamiento que se usaron para la clasificación de las imágenes satelitales, además de fuentes secundarias. Este proceso, se realizó por medio de una clasificación supervisada mediante el uso del modulo Classifier-Supervised Classification de Erdas Imagine v.9.2 (Leica Geosystems 2008), en donde cada tipo de vegetación (Sistemas Ecológicos) contó con distinto número de áreas de entrenamiento, desde 3 a 11 áreas de entrenamiento, siendo los pixeles seleccionados como base para identificar áreas con las mismas características espectrales. Para mejorar la identificación de estas áreas de entrenamiento se hizo uso de herramientas como ArcGis Explorer y Google Earth (Pinto 2009).

Debido a que en algunas situaciones pixeles correspondientes a un tipo de vegetación se confunden con otros tipos de vegetación (efecto sal y pimienta) se utilizo el módulo Imagen Segmentation de Erdas Imagine v9.2, la segmentación de las imágenes (Figura 7) no es un método tradicional de clasificación, pero facilita en el proceso de la misma. Este proceso consiste en la subdivisión de los componentes espectrales de una imagen por medio de delimitaciones separadas, donde cada delimitación pertenece a un componente espectral de la imagen.



**Figura 7. Flujograma del proceso de segmentación de las imágenes.**

Los archivos raster (imágenes clasificadas) fueron importados en ARCINFO® y transformados a archivos vectores (archivo gráfico en base a polígonos) para facilitar la redacción de las imágenes. La clasificación fue redactada para corregir errores donde tipos de vegetación se agrupan erróneamente debido a similitudes en su estructura.

### **2.2.7 Dinámica de inundación**

Entender cómo funcionan los sistemas naturales es fundamental para un adecuado manejo y gestión de los recursos naturales, es por eso que el tener una primera aproximación de las medidas de inundación en el pantanal boliviano es prioritario.

#### ***Adquisición de datos digitales***

Debido a la gran superficie del área de estudio y las dinámicas estacionales que ocurren en ella, las imágenes satelitales seleccionadas y usadas para estudiar dinámicas estacionales de inundación corresponden al Sensor MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer), que incluye dos sensores (MODIS-Terra y MODIS-Aqua) que proporcionan imágenes de la superficie entera del globo cada 1 a 2 días (tabla 5). Estas imágenes contienen información de alta sensibilidad radiométrica en 36 bandas espectrales y a tres diferentes resoluciones: 250m, 500m y 1000m. El área de cobertura es de 10° x 10° divididos en “tiles” o cuadros con una cobertura global. Estas imágenes que recientemente entraron en funcionamiento corresponden a sensores de resolución moderada. Con base en las imágenes multispectrales, se generan y ponen a la disposición del público productos temáticos dentro de los cuales destacan productos que describen los cambios de las coberturas del suelo (Zhan et al. 2000 y 2002) y los índices de vegetación.

Para el pre-procesamiento de las Imágenes a un formato compatible con un software GIS (Erdas Imagine v9.2), fue necesario obtener los programas de instalación para pre-procesamientos de los datos, los cuales se encuentran disponibles en la página de USGS (<http://LDPAAC.usgs.gov>). Estos programas son:

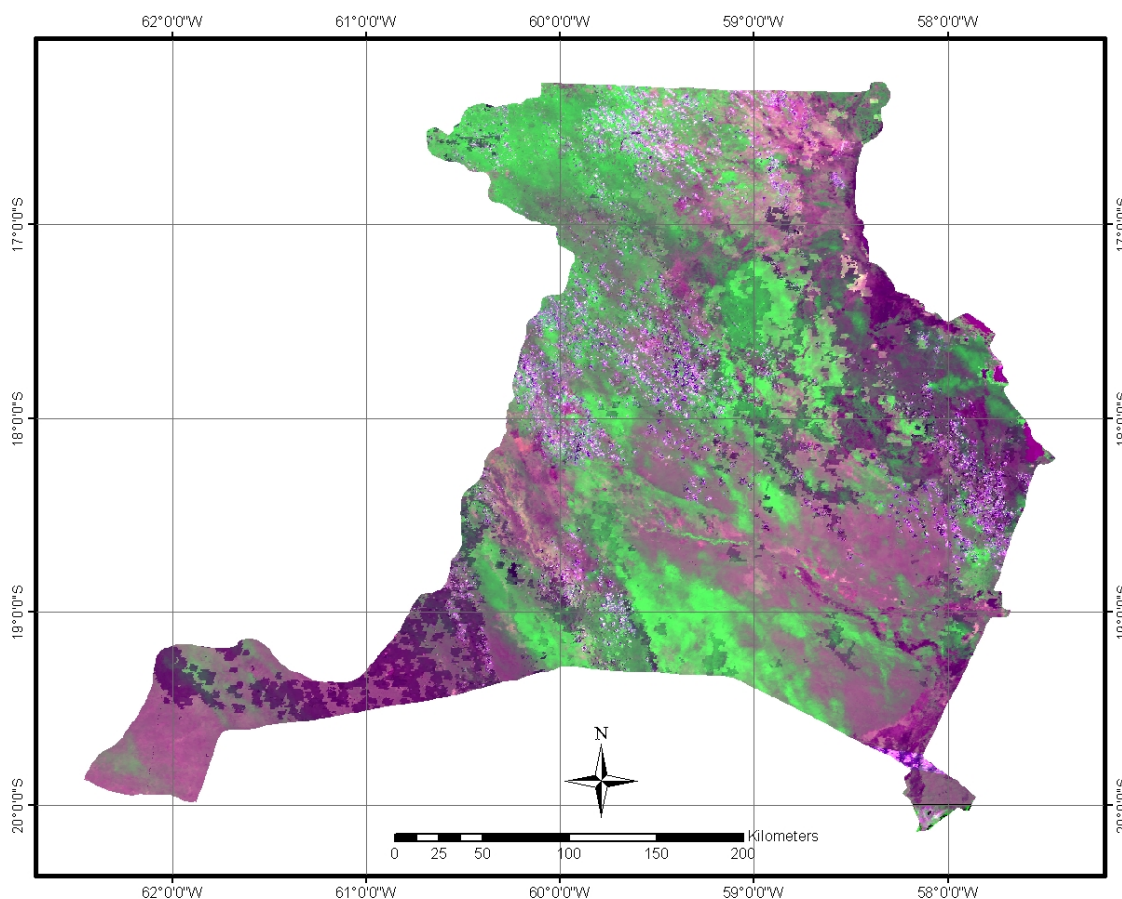
- a. MODIS Reprojection Tool (MRT)
- b. MODIS Land Data Operation Product Evaluation (LDOPE)
- c. MODIS Swath Reprojection Tool (MRT Swath)
- d. MODIS Data Pool Extraction Tool (MODextract)

La metodología utilizada se basa principalmente en un código escrito con comandos de líneas que permiten ser ejecutados dentro de cada uno de los programas mencionados anteriormente. Los resultados son imágenes en formatos compatibles con Erdas Imagine v9.2, y con un sistema de coordenada acordado para la cuenca.

Una vez definidos los requerimientos, se descargaron las imágenes MODIS y se almacenaron en una base de datos temporal. Es importante mencionar que las imágenes descargadas correspondieron a la resolución espacial de 250 metros (Bandas 1, 2), correspondientes a las imágenes H12V10 y H12V11 (tabla 2 y figura 4). El sitio Web de MODIS ofrece un buscador que permite al usuario hacer una búsqueda por producto MODIS, identificando el área de interés, resolución de los datos, y fecha de los mismos. Una vez importados las imágenes satelitales se proyectaron al sistema de coordenadas UTM zona 21 sur, bajo la proyección WGS 84.

Como se menciona anteriormente, el área de estudio se caracteriza por ser plana, pero presenta en algunas serranías de considerable superficie y altitud, en este sentido se

utilizaron modelos de elevación digital (DEMs) en formato GRID (raster GIS file) (figura 4) que fueron adquiridos gratuitamente de la página de la Base de Datos Digital de Recursos Naturales de Bolivia (BDRNB), los cuales sirvieron para generar curvas de nivel para cada 5 metros y generar un archivo TIN (Triangulated Interpolation Network) que sirvió para elaborar un nuevo archivo GRID usado para identificar las altitudes del área de estudio. Por otro lado, estos DEMs basados en las curvas de nivel también sirvieron para elaborar un modelo cartográfico de tendencias de inundación, mediante el uso de la extensión "Modelos de Inundación" para ArcView 3.3.



**Figura 8. Mosaico resultante de la fusión de las imágenes MODIS h12v10 y h12v11, para la parte boliviana de la Porción alta de la cuenca del río Paraguay. Se muestra una combinación de bandas 1-2-1 de resolución espacial de 250 metros.**

#### *Clasificación de las imágenes satelitales (Monitoreo de las Inundaciones)*

Debido a que el Pantanal es un área bastante extensa y para tratar de entender las dinámicas estacionales de inundación de esta vasta llanura aluvial, se necesita un gran esfuerzo de trabajo; es por eso que para el estudio de las inundaciones estacionales causadas por los pulsos naturales de inundación en el área de estudio, se utilizaron imágenes satelitales de mediana resolución como es el caso del sensor MODIS.

La detección de cambios producidos por las dinámicas del Pantanal es analizado para la parte boliviana de la cuenca, y que corresponden a las máximas, medias y mínimas

inundaciones, para esto se utilizaron los programas ArcGis/ArcInfo v9.3 y Erdas Imagine v9.2. Para detectar los cambios de inundación ocurridos, primero se elaboró mosaicos de imágenes MODIS H12V10 y H12V11 (figura 8); los cuales sirvieron para realizar análisis multifecha, siendo el primer análisis el de índice de vegetación normalizado (NDVI).

Se llevo a cabo una clasificación no supervisada, mediante el algoritmo ISODATA (Leica Geosystems 2008), con 200 clases y 10 iteraciones, posteriormente las clases resultantes (n 200) fueron reclasificadas generando imágenes binarias de i) áreas inundadas y ii) cuerpos de agua permanente para los cinco años de estudio y tres fechas por año.

### **3 Resultados**

En el marco de este trabajo se generó la siguiente cartografía temática:

#### **3.1 Mapa Político**

Las coberturas usadas en este mapa fueron los Límites municipales generados por el Ex Comité de Límites (COMLIT) en el año 2004 para la porción boliviana y para brasileña la fuente es el Instituto Brasileiro de Geografía e Estatística (IBGE). Los centros poblados o sedes municipales utilizados son la unión de la cobertura oficial de la Unidad de Ordenamiento Territorial de Bolivia, 2002; dependiente del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación (MDSP-VPOT) y la cobertura generada por el IBGE. La red de caminos de Bolivia ha sido compatibilizada con la cobertura entregada por EMBRAPA a escala 1:250.000. Para la porción paraguaya solo se pudo conseguir los límites políticos, los cuales fueron proporcionados por WWF y la cobertura de carreteras por Wildlife Conservation Society - WCS, las cuales fueron bajadas de las siguientes páginas en Internet:

<http://www.fao.org/geonetwork/srv/es/metadata.show?id=1164&currTab=simple>  
[http://www.intactforests.org/download/shp\\_download.htm](http://www.intactforests.org/download/shp_download.htm)  
<http://www.cdc.gov/epiinfo/southamerica.htm>

#### **3.2 Mapa Hidrográfico**

Este mapa fue elaborado con cobertura a escala 1:250.000, la parte boliviana proveniente del PLUS – Plan de Uso del Suelo 2005, la parte brasilera es de EMBRAPA y la porción paraguaya es de IPH. La porción paraguaya no tiene el dato de escala, por tal motivo no se la ha compatibilizado y añadido a la cobertura integral de la cuenca.

#### **3.3 Mapa de Áreas Protegidas**

Este mapa fue elaborado con las coberturas cartográficas oficiales de Reservas Privadas del Patrimonio Natural (RPPN), Asociaciones a Largo Plazo (ASL), Sitios RAMSAR, Tierras Comunitarias de Origen (TCO) y áreas protegidas de la parte boliviana y compatibilizada con la información homologa de la parte brasilera.

#### **3.4 Mapa Producción Ganadera (porción boliviana)**

Para obtener este mapa se utilizó la información del mapa de Uso Actual de la tierra elaborado por el Museo de Historia Natural “Noel Kempff Mercado” para el Departamento de Santa Cruz (DIORTECU/PLUS), donde se encuentran los usos identificados para el área de estudio. En las áreas identificadas como de ganadería en sabanas y ganadería intensiva se desarrolla la actividad ganadera, que según la Federación de Ganaderos de

Santa Cruz - FEGASACRUZ, en el año 2008 alcanzó una producción de 470.149 cabezas de ganado en los municipios descritos a continuación:

PROVINCIA	MUNICIPIO	BOVINOS
ANGEL SANDOVAL	SAN MATIAS	46974
CHIQUITOS	ROBORE	31958
	SAN JOSE	69154
	<b>Total</b>	<b>101112</b>
CORDILLERA	CHARAGUA	86551
G.BUSCH	EI CARMEN RIBERO	39581
	PUERTO QUIJARRO	708
	PUERTO SUAREZ	28624
	<b>Total</b>	<b>68913</b>
VELASCO	SAN IGNACIO	129235
	SAN RAFAEL	37364
	<b>Total</b>	<b>166599</b>
	<b>Total</b>	<b>470149</b>

Fuente: FEGASACRUZ 2008

Debido a la dificultad de conseguir datos relativos solamente para el área de estudio, y como información adicional, se muestra a continuación una tabla del crecimiento poblacional de ganado bovino para los municipios que en su totalidad hacen parte de la cuenca, donde se nota el crecimiento constante de la actividad ganadera en el área.

Evolución de la Población del Ganado Bovino									
Provincias- Municipios	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ANGEL SANDOVAL	198.367	204.318	210.448	216.761	223.264	229.962	236.861	243.967	252.506
SAN MATIAS	4.158	4.283	4.411	4.544	4.680	4.820	4.965	5.114	5.293
LA GAIBA	15.646	16.115	16.599	17.097	17.610	18.138	18.682	19.243	19.916
LAS PETAS	22.171	22.836	23.521	24.227	24.954	25.703	26.474	27.268	28.223
SANTO CORAZON	38.170	39.315	40.495	41.709	42.961	44.250	45.578	46.945	48.588
* CANDELARIA	118.222	121.769	125.422	129.184	133.060	137052	141.164	145.398	150.487
GERMAN BUSCH	58.087	59.830	61.624	63.473	65.377	67.338	69.358	71.439	73.939
PUERTO SUAREZ	8.181	8.426	8.679	8.940	9.208	9.484	9.769	10.062	10.414
EL CARMEN	26.548	27.344	28.165	29.010	29.880	30.776	31.699	32.650	33.793
MUTUN	23.358	24.059	24.781	25.524	26.290	27.079	27.891	28.728	29.734
CHIQUITOS/ROBORE	14.871	15.317	15.777	16.250	16.737	17.239	17.756	18.289	18.929

Esta información fue extraída del *Anuario de la Cámara Agropecuaria del Oriente 2006-2008*

### 3.5 Multi-temporal de Cambio de Cobertura de la Tierra

Los estudios multitemporales tienen por objeto analizar qué rasgos presentes en un determinado territorio se han modificado o han sufrido cambios entre dos o más fechas. Como fuera mencionado anteriormente para este análisis se usó como línea base el mapa elaborado con imágenes satelitales de los años 1976, 1991, 2000 y 2005 realizados por la Universidad de Maryland y el Museo Noel Kempff Mercado (UMD,1998-MNKM,2005). A este producto se le adicionó la información del mapa elaborado para WWF que se realizó con imágenes satelitales Landsat del año 2006 para el proyecto "Estudio sobre el impacto de los cambios en el uso del suelo en la economía del Departamento de Santa Cruz y la

*Cuenca alta del Río Paraguay en particular*” por el Museo NKM y posteriormente se le añadió el cambio de cobertura de la tierra identificado para el año 2008.

La leyenda explicativa de las clases identificadas es la siguiente:

1. **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.
2. **Bosque Chaqueño.** Comprende toda la región chaqueña de la cuenca. Según el estudio realizado con apoyo de los técnicos de FEGAZACRUZ, estos consideran que esta cobertura esta siendo utilizada para la ganadería de ramoneo.
3. **Humedales.** Son todas las áreas que están sujetas a inundaciones en algunas épocas del año o permanentemente.
4. **Sabana.** Grandes extensiones planas de pasturas naturales.
5. **No bosque.** Afloramientos rocosos o arena y lechos de cuerpos de agua desprovista casi completamente de vegetación.
6. **Lagunas.** Extensión natural de agua.
7. **Ríos.** Corriente natural de agua.
8. **Cuerpos de agua secos.** Leche seco de un río o una laguna.
9. **Área Urbana.** Suelo destinado a ciudades y centros poblados.
10. **Cambio hasta 1991:** Incluye todo el cambio en la cobertura natural antes del año 1991.
11. **Cambio 1991 – 2001:** Incluye el cambio en la cobertura natural existente entre 1991 y 2001.
12. **Cambio 2001 - 2004:** Incluye el cambio en la cobertura natural existente entre 2001 y 2004.
13. **Cambio 2004 - 2006:** Incluye el cambio en la cobertura natural existente entre 2004 y 2006.
14. **Cambio 2006 - 2008:** Incluye el cambio en la cobertura natural existente entre 2006 y 2008.

Los resultados obtenidos en base al análisis de la tasa anual de deforestación nos indica que aún las coberturas naturales se encuentran en buen estado de conservación, aunque en el último periodo de estudio (2001-2008) se observo un incremento de la deforestación (-0,42), lo que en un futuro puede llegar a incrementarse si no se realizan o se plantean recomendaciones de manejo de recursos naturales (tabla 7). Por otro lado debería considerarse para futuros estudios (a mediano plazo) nuevos análisis de este tipo tomando en cuenta el incremento en las actividades económicas y de urbanización en el área de estudio, principalmente en las zonas fronterizas.

**Tabla 7. Superficies ocupadas (ha) por las coberturas identificadas y su porcentaje en relación a la superficie total analizada. También se observa la tasa anual de deforestación (r) y el % de la tasa anual para los tres periodos estudiados.**

Coberturas	Superficie	% superficie	r	r (% anual)
Bosque Chiquitano	4242269	43,3915		
Bosque Chaqueño	1615147	16,5203		
Humedales	210131	2,1493		
Sabana	3225672	32,9933		
No bosque	69290	0,7087		
Lagunas y ríos	62449	0,6388		
Área urbana	2924	0,0299		
Cambio hasta 1991	21982	0,2248	-0,0001	-0,0146
Cambio 1991-2001	49736	0,5087	-0,0005	-0,0530
Cambio 2001-2008	277135	2,8346	-0,0043	-0,4294

Por otro lado al hacer el análisis a nivel sub-cuenca se puede observar que hay diferencias en las tasas de deforestación (tabla 8) siendo las subcuencas de Río Tucavaca , Río Mercedes, La Gaiba y Laguna Cáceres para el periodo de estudio 2001-2008 las que presentan las tasas de deforestación más altas. Es importante mencionar que la subcuenca Río San Miguel para el primer periodo (hasta 1991) no presento alteración alguna.

**Tabla 8. Tasas anuales de deforestación a nivel subcuenca, para los tres periodos de estudio.**

Subcuenca	Hasta 1991	1991-2001	2001-2008
La Gaiba	-0,0057	-0,0161	-0,4962
Laguna Cáceres	-0,0194	-0,1636	-1,0476
Río Correroca	-0,0001	-0,0013	-0,1243
Río Mercedes	-0,0431	-0,0783	-0,8187
Río San Miguel	0,0000	-0,0003	-0,0884
Río Tucavaca	-0,0162	-0,0839	-0,4025

**Tabla 9. Área total deforestada (ha) en los diferentes periodos de estudio.**

COBERTURA NATURAL	AREA (Has)
Bosque Chiquitano	4.242.269
Bosque Chaqueño	1.615.147
Humedales	210.131
Sabana	3.225.672
No bosque	69.291
Lagunas y ríos	62.449
Área urbana	2.924
CAMBIO DE USO	AREA (Has)
Cambio hasta 1991	21.982
Cambio 1992 - 2001	49.736
Cambio 2001 - 2004	28.307
Cambio 2004 - 2006	141342
Cambio 2006 - 2008	107.486
<b>TOTAL</b>	<b>348.853</b>

El área total deforestada de la cuenca, de 1991 a 2008, alcanza la suma de 348.853 hectáreas, lo que equivale a un 3,56% del área total de la porción de la cuenca que corresponde a Bolivia. Haciendo un cálculo anual de la deforestación ocurrida entre 1992 y 2008 se observa un promedio de deforestación de 21.803 hectáreas por año.

### **3.6 Mapa uso actual de la tierra**

Se utilizó la información del mapa de Uso Actual elaborada por el Museo de Historia Natural “Noel Kempff Mercado” para el Departamento de Santa Cruz (DIORTECU/PLUS); para dicho estudio se trabajó con imágenes satelitales 2005. Este mapa fue actualizado con el producto de las imágenes del año 2008 realizado para este estudio. Las fechas de las imágenes Landsat 2008 utilizadas fueron:

Nº	Path/Row	Fecha(a/m/d)
1	227 - 72	2008/09/11
2	227 - 73	2008/09/11
3	227 - 74	2008/09/11
4	228 - 71	2008/09/02
5	228 - 72	2008/09/18
6	228 - 73	2008/09/18
7	229 - 71	2008/09/09
8	229 - 72	2008/09/09
9	229 - 73	2008/09/09

### **Clases de Cobertura y Uso de la tierra**

Resultado del análisis de las imágenes, se identifican 6 clases de cobertura natural, 4 clases de uso de la tierra y dos tipos de cambio de uso de la tierra, que se listan abajo:

- **Cobertura de la Tierra**
  1. Sabana
  2. No bosque
  3. Bosque Chiquitano
  4. Bosque Chaqueño
  5. Humedales
  6. Lagunas y ríos
  
- **Uso de la tierra**
  1. Agricultura manual en pequeña escala
  2. Ganadería intensiva
  3. Ganadería en sabanas
  4. Área urbana

- **Cambio de Uso de la tierra**

1. Cambio de uso en bosques 2008
2. Cambio de uso en sabanas 2008

Las clases identificadas en este mapa se describen a continuación:

**Coberturas naturales de la tierra:**

- **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.
- **Bosque Chaqueño.** Comprende toda la región chaqueña de la cuenca. Según el estudio realizado con apoyo de los técnicos de FEGAZACRUZ, estos consideran que esta cobertura esta siendo utilizada para la ganadería de ramoneo.
- **Humedales.** Son todas las áreas que están sujetas a inundaciones en algunas épocas del año o permanentemente.
- **Sabana.** Grandes extensiones planas de pasturas naturales.
- **No bosque.** Afloramientos rocosos o arena y lechos de cuerpos de agua desprovista casi completamente de vegetación.
- **Lagunas.** Extensión natural de agua.
- **Ríos.** Corriente natural de agua

**Uso de la Tierra:** como fue mencionado anteriormente estas clases fueron identificadas en un estudio previo realizado conjuntamente con DIORTECU-PLUS con imágenes satelitales del año 2005 y corroboradas con trabajo de campo, videografía y trabajo de gabinete; este último fue realizado conjuntamente con los diferentes grupos productivos de Santa Cruz como lo son:

- Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas (ANAPO)
- Productores de Maíz y Sorgo (PROMASOR)
- Asociación Departamental de Productores de Algodón (ADEPA)
- Asociación de Productores de Arroz (ASPAR)
- Federación y asociación de Cañeros
- Federación de Ganaderos de Santa Cruz (FEGASACRUZ)
- Federación Departamental de Productores de Leche (FEDEPLE)

A continuación la descripción de las clases de uso de la tierra en la leyenda del mapa:

- **Área Urbana.** Suelo destinado a ciudades y centros poblados.
- **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.
- **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 de la producción, según

información proporcionada por la asociación de ganaderos de la zona. El hecho de que el producto de la clasificación satelital no fue corroborado con trabajo de campo nos impide identificar la pastura natural de la introducida.

- **Ganadería intensiva.** Esta ganadería es realizada en áreas que han sido deforestadas y donde posteriormente se han cultivado pasto, según información proporcionada por la asociación de ganaderos de la zona.

**Cambio de Uso de la tierra:** Las clases descritas a continuación no tienen un uso definido (ganadería, agricultura, etc.) ya que solamente con trabajo de gabinete no es posible identificar el tipo de uso en las imágenes de satélite.

- **Cambio de uso en bosques 2008.** Áreas identificadas como deforestación en las imágenes satelitales del año 2008.
- **Cambio de uso en sabanas 2008.** Áreas identificadas con intervención antropogénica en las sabanas.

### **3.7 Mapa de Tenencia de Tierra**

Las coberturas usadas en este mapa fueron los límites municipales generados por el *Ex Comité de Límites* (COMLIT) en el año 2004 para la porción boliviana y para brasileña la fuente es el *Instituto Brasileiro de Geografía e Estatística* (IBGE). Los centros poblados o sedes municipales utilizados son la unión de la cobertura oficial de la Unidad de Ordenamiento Territorial de Bolivia, 2002; dependiente del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación (MDSP-VPOT) y la información generada por el IBGE. La red de caminos de Bolivia ha sido compatibilizada con la entregada por EMBRAPA a escala 1:250.000. La parte paraguaya no tiene fuente. La información sobre pozos petroleros y gasoducto utilizada en este mapa fueron proporcionados por Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos-YPFB y solo se tiene estos datos para la parte boliviana. Para la porción brasileña se cuenta con datos de Centrales Hidroeléctricas proporcionadas por ANEEL.

Las Reservas Privadas de Patrimonio Natural – RPPN generadas por la Superintendencia Agraria fueron compatibilizadas con la cobertura del lado brasileño entregadas por REPAMS.

Las Tierra Comunitarias de Origen fueron compatibilizadas para la porción brasileña y boliviana.

Las Concesiones Forestales y Asociaciones a Largo Plazo y las Concesiones Mineras solo existe para el la porción boliviana.

Las Unidades de Conservación están compatibilizadas para toda la cuenca al igual que los sitios RAMSAR y el límite de cuenca.

### **3.8 Mapa de Vegetación (Sistemas Ecológicos)**

Las tierras bajas del departamento de Santa Cruz, corresponden a las Regiones Biogeográficas de Amazonía, Brasileño Paranaense y Chaco, que abarca la mayor parte del departamento (Arroyo 1995), es en estas tres regiones donde se ubica la porción boliviana de la cuenca del río Paraguay. Fisiográficamente, esta zona es un área plana a suavemente ondulada que se encuentra en la zona de piedemonte formando una sucesión progresiva de planicies aluviales de diferentes alturas denominadas terrazas

(alta, media y baja), determinando la presencia de sectores con zonas de inundación por gran parte del año, sectores con anegación temporal y otros finalmente inundados solo en forma ocasional (Killeen y Schulemberg 1998, Ibsch 2003 y Navarro 2004). Las particularidades geológicas, geomorfológicas, factores edáficos, sistema hidrológico y la influencia del clima determinan severas restricciones al uso del suelo, lo que hace que esta zona no haya sido tan afectada con las actividades antrópicas, como áreas de pastos en las zonas no inundadas de la región (Pinto et al. 2008).

La planificación del uso de un ecosistema se beneficia ampliamente del conocimiento de su estructura y funcionamiento. La comprensión de estos aspectos permite tanto valorar su diversidad de especies (Sala et al. 2000), su valor paisajístico y forrajero, y los servicios que presta, como implementar una mejor conservación o utilización del ecosistema de forma sustentable (Sala & Paruelo 1997). En este sentido, el mapeo de la vegetación permite conocer la distribución espacial y la superficie ocupada por las distintas unidades de vegetación y por consiguiente una mejor apreciación (socio-ambiental) de los sistemas naturales.

### **8.3.1 Coberturas identificadas**

Aunque la clasificación por Sistemas Ecológicos tiene una base importante en el uso actual del suelo, en este estudio trabajamos en base a una clasificación de vegetación potencial (vegetación natural, sin cambio) que no toma en cuenta o no considera el uso del suelo, debido a que los distintos sistemas de ocupación y uso antrópico en la zona causa confusión entre píxeles de clases naturales y antrópicas.

Se identificaron 28 Sistemas Ecológicos (tipos de vegetación), sin tener en cuenta cuerpos de agua (ríos y lagunas) existentes en el área de estudio. El sistema Ecológico más importante, según la superficie, fue el Bosque semidecídulo higrofitico y freatofítico de Santa Cruz y la Chiquitanía (20%) del total del área de estudio, seguida por los sistemas ecológicos de Sabanas herbáceas oligotróficas estacionalmente inundadas, Bosques higrofiticos del Chaco Septentrional y Palmares inundables del Chaco Septentrional cada una con una superficie ocupada de 7% del total del área de estudio (tabla 10 y figura 9). Los sistemas restantes presentaron una extensión menor, probablemente debido a la especificidad de su hábitat, siendo los sistemas ecológicos con menor superficie las Sabanas abiertas altas inundables del Chaco Septentrional oriental (0,073% o 7157 ha), Bosques ribereños inundables del Pantanal occidental (0,071% o 6974 ha) y Vegetación acuática y palustre neotropical del Chaco (0,018% o 1733 ha) (tabla 10 y figura 9).

Por otro lado, no existe una relación entre la superficie de los sistemas ecológicos y el número de parches (fragmentos correspondientes a un sistema ecológico o tipo de vegetación), esto se puede deber principalmente a las dinámicas naturales que ocurren en el área de estudio, que causa el aislamiento o separación de algunos sistemas independientemente de sus superficies. También, los tamaños medios de los parches (MPS) indican una fuerte relación con la superficie de los sistemas ecológicos, es decir a mayor superficie de un sistema ecológico, mayor será la superficie de sus parches (figura 11).

**Tabla 10. Sistemas Ecológicos mapeados para la porción boliviana de la porción alta de la cuenca del río Paraguay. Donde: NUMP = número de parches y MPS=tamaño medio de los parches de cada sistema ecológico de la parte Boliviana de la Porción alta de la cuenca del río Paraguay.**

Nº	Código	Sistema Ecológico	Tipo de Vegetación	Superficie	%	NUMP	MPS
1	AMSCHB	Arbustales y matorrales saxícolas de la Chiquitania y el Beni	Arbustales, matorrales y bosques bajos saxícolas	156116	1,592	6203	15,2
2	BHSCH	Bosques higrofiticos de las serranías chiquitanas	Bosque bajo siempreverde	34545	0,352	2430	3,4
3	BREPCH	Bosques ribereños del Escudo Precámbrico Chiquitano	Bosques altos siempreverdes estacionalmente inundados	38652	0,394	5130	3,8
4	BSHFSC	Bosques semidecíduos higrofiticos y freatófiticos de Santa Cruz y la Chiquitania	Bosques altos semidecíduos estacionalmente inundados con abundantes lianas leñosas	1964422	20,032	18239	196,4
5	BSHSCTC	Bosques subhúmedos semidecíduos Chiquitanos transicionales con el Chaco	Bosques altos semidecíduos estacionalmente inundados transicional al Chaco	370994	3,783	9606	37,1
6	BSHSCHB	Bosques subhúmedos semidecíduos de la Chiquitania y el Beni	Bosques altos semidecíduos estacionalmente inundados transicionales de la Chiquitania y el Beni	372693	3,801	6247	37,3
7	CECHB	Cerradão de la Chiquitania y el Beni	Bosques bajos esclerófilos y semi-siempreverdes	364775	3,720	13575	36,5
8	CHPECHC	Chaparrales esclerófilos de la Chiquitania transicionales con el Chaco	Bosques bajos esclerófilos y semidecíduos	399563	4,075	19419	39,9
9	SHMCE	Sabana higrofitica con montículos del Cerrado	Complejo de sabanas arbustivas esclerófilas y pastizales abiertos estacionalmente inundables	82405	0,840	10090	8,2
10	SHOEI	Sabanas herbáceas oligotróficas estacionalmente inundadas	Sabanas herbáceas estacionalmente inundadas	698276	7,121	20342	69,8
11	SSACH	Sabanas saxícolas de la Chiquitania	Sabanas abiertas herbáceas saxícolas	467992	4,772	21370	46,8
12	VAPCHB	Vegetación acuática y palustre neotropical de la Chiquitania y el Beni	Vegetación de aguas claras y negras	326407	3,329	19534	32,6
13	BASARHPS	Bosques abiertos y sabanas arboladas higrofiticas del Pantanal suroccidental	Bosques medios decíduos y sabanas arboladas	72699	0,741	1604	7,3
14	BRIPO	Bosques ribereños inundables del Pantanal occidental	Bosques siempreverdes estacionales	6974	0,071	4019	0,7
15	VAPNP	Vegetación acuática y palustre neotropical del Pantanal	Sabanas herbáceas inundadas y vegetación acuática	146360	1,493	7169	14,6
16	ARSC	Arbustales riparios sucesionales del Chaco	Bosques y arbustales riparios del Chaco	31971	0,326	6030	3,2
17	BARECNO	Bosques de arenales del Chaco Noroccidental	Bosques decíduos a semidecíduos semicerrados	384086	3,917	8231	38,4
18	BHCSEP	Bosques higrofiticos del Chaco Septentrional	Bosques higrofiticos chaqueños	668312	6,815	37350	66,8
19	BIRC	Bosques inundables ribereños del Chaco	Bosque siempreverde estacionalmente inundado	47347	0,483	4856	4,7
20	BSMCSEPO	Bosques sobre suelos mal drenados del Chaco Septentrional occidental	Bosques bajos y arbustales decíduos de Chaco estacionalmente inundados	717917	7,321	24476	71,8
21	BSMCSEPOR	Bosques sobre suelos mal drenados del Chaco Septentrional oriental	Bosques semidecíduos densos del Chaco estacionalmente inundados	327494	3,340	14925	32,7
22	PICSEP	Palmares inundables del Chaco Septentrional	Palmares boscosos y sabanas arbustivas pastizales abiertos estacionalmente inundables del Chaco	669813	6,830	38564	66,9
23	SAICSEPOR	Sabanas abiertas altas inundables del Chaco Septentrional oriental	Sabanas herbáceas abiertas estacionalmente inundables de Chaco	7157	0,073	2560	0,7
24	SARCNO	Sabanas arboladas de los arenales del Chaco noroccidental	Herbazal xerofítico con árboles y arbustos dispersos	30556	0,312	4113	3,1
25	VAPNC	Vegetación acuática y palustre neotropical del Chaco	Comunidades de helófitos, pleustófitos e hidrófitos	1733	0,018	483	0,2
26	VSIC	Vegetación de los salares inundables del Chaco	Palmares abiertos, arbustales y pajonales estacionalmente inundables del Chaco	454436	4,634	32904	45,4
27	BTCSEPCH	Bosques transicionales de cerros del Chaco Septentrional a la Chiquitania	Bosques semidecíduos bajos transicionales del Chaco a la Chiquitania	768924	7,841	48274	76,9
28	BTALCSEPCH	Bosques transicionales de llanura aluvial del Chaco Septentrional a la Chiquitania	Bosques decíduos transicionales del Chaco a la Chiquitania	171225	1,746	26831	17,1
29	CA	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua permanentes (lagunas y rios)	21229	0,216	308	2,1

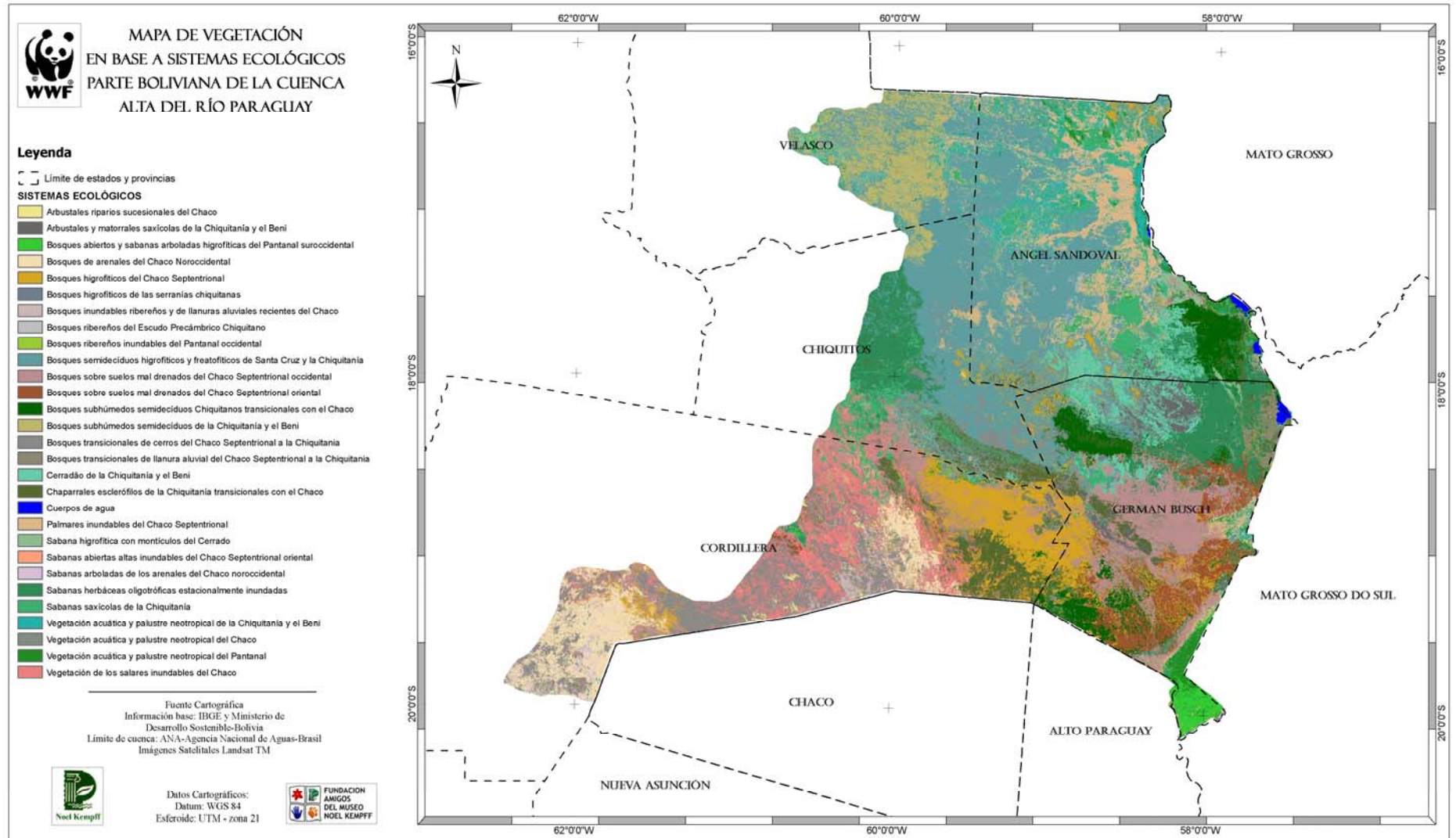


Figura 9. Mapa de Sistemas Ecológicos para la porción Boliviana de la porción alta de la cuenca del río Paraguay.

A continuación se describen los sistemas ecológicos para la parte Boliviana de la porción alta de la cuenca del río Paraguay, la descripción principal de los sistemas ecológicos proviene de la Base de Datos de NatureServe. International Ecological Classification Standard: Terrestrial Ecological Systems of Latin America and the Caribbean (Figura 10).

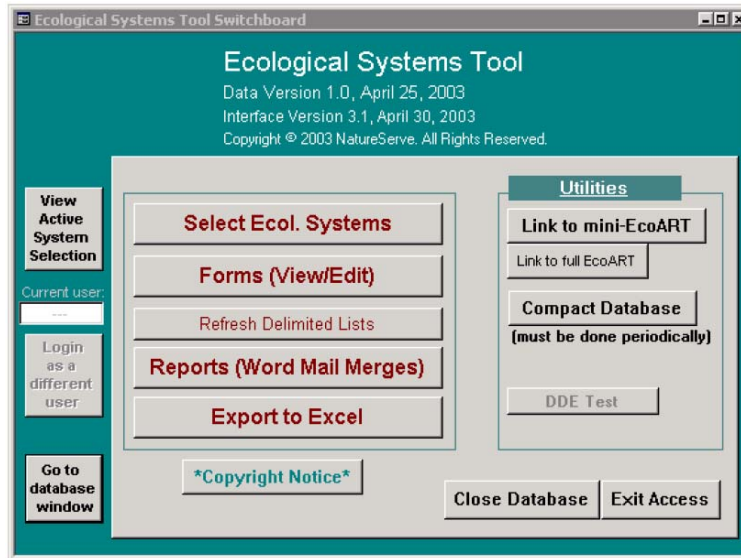


Figura 10. Vista de la base de datos de sistemas ecológicos de Ecological System Tool (NatureServe 2003), utilizada para la descripción de los sistemas ecológicos mapeados para el área de estudio.

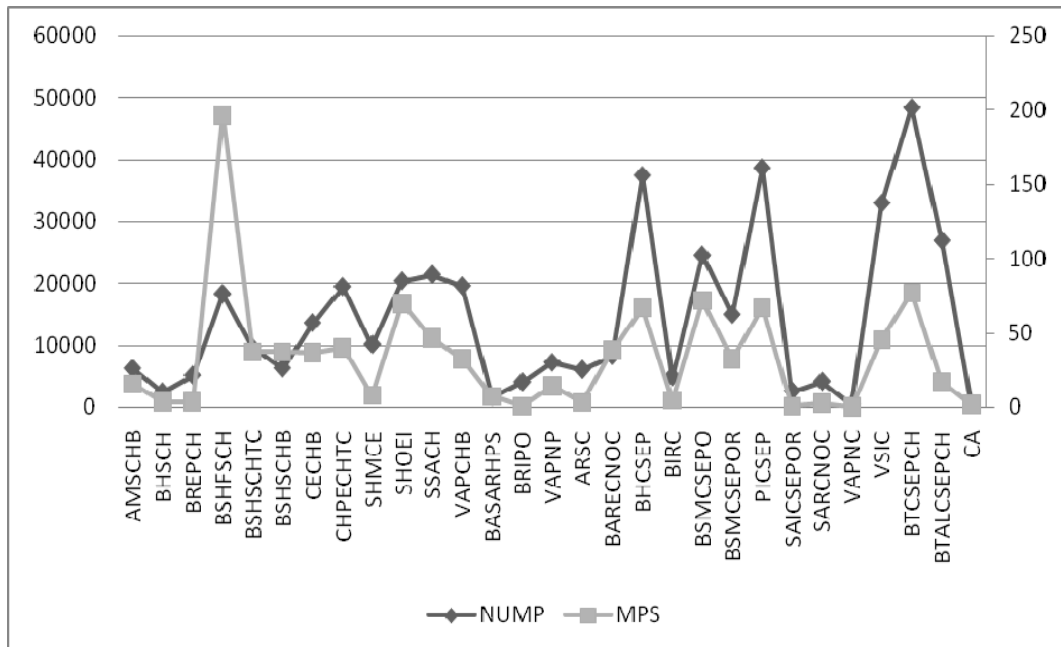


Figura 11. Relación entre el número de parches (NUMP) y el tamaño medio de los parches (MPS) de los sistemas ecológicos mapeados para la porción Boliviana de la porción alta de la cuenca del río Paraguay. Valores a la izquierda corresponden a NUMP y valores a la derecha a MPS.

### 8.3.2 Leyenda explicativa de los sistemas ecológicos

#### ***Sistema Ecológico de arbustales y matorrales saxícolas de la Chiquitanía y el Beni*** *Arbustales, matorrales y bosques bajos saxícolas*

Sistema que agrupa diferentes asociaciones, en general de baja cobertura vegetal y con diferentes aspectos de evolución sucesional, que se desarrollan sobre afloramientos rocosos del este de Bolivia; estos afloramientos son básicamente de dos tipos: grandes lajas de rocas cristalinas del escudo precámbrico (domos o inselbergs de granitos o gneises) o bien farallones o escarpes de rocas areniscas en las zonas altas de mesetas y serranías chiquitanas. Tienen una flora típica, a menudo especializada y con elementos restringidos o de distribución disyunta, siendo importantes las Velloziaceae, Bromeliaceae y Cactaceae. La mayoría de estas especies presentan biotipos de "comófitos", es decir, son plantas que no colonizan realmente la roca desnuda sino que necesitan un mínimo de tierra, bien revistiendo la roca como una capa o fieltro (exocomófitos) o bien rellenando grietas o fisuras de la roca (casmo-comófitos). Por tanto, necesitan de la acción previa de comunidades pioneras de algas, líquenes y ciertos helechos muy xeromórficos. Los principales ambientes son lajas rocosas, domos e inselbergs de litología de granitos o gneises. Afloramientos y farallones de areniscas. Ombroclima termotropical inferior subhúmedo a húmedo inferior.

#### ***Sistema Ecológico de bosques higrofíticos de coníferas de las serranías chiquitanas*** *Bosque bajo siempreverde*

Sistema de bosques bajos siempre verdes estacionales, exclusivos de las depresiones topográficas someras imperfectamente drenadas, existentes en las mesetas monocinales de las serranías chiquitanas meridionales, donde ocupan manchas dispersas en general de pequeña extensión. Presentan una flora muy notable, siendo generalmente dominante *Podocarpus* cf. *sellowiis*, especie que de confirmarse su identidad taxonómica, formaría en la Chiquitanía poblaciones disyuntas respecto a su área principal de distribución en las montañas del sureste de Brasil.

Los ambientes dominantes son mesetas de las serranías chiquitanas, sobre zonas algo deprimidas topográficamente con suelos mal drenados. Ombroclima termotropical inferior subhúmedo.

#### ***Sistema Ecológico de bosques ribereños del Escudo Precámbrico Chiquitano*** *Bosques altos siempreverdes estacionalmente inundados*

Sistema que agrupa los bosques riparios que se desarrollan en los márgenes de los cursos fluviales que disectan el escudo precámbrico chiquitano, sobre suelos con propiedades flúvicas, periódicamente erosionados y re-depositados de forma parcial. Aguas predominantemente hipo-mesomineralizadas. Sistema con geometría lineal en el paisaje y continuidad espacial variable según la morfología del cauce.

Los ambientes se caracterizan por márgenes y riberas de cursos fluviales que disectan el Escudo Precámbrico Chiquitano, con suelos aluviales de propiedades flúvicas. Ombroclima termotropical inferior subhúmedo.

***Sistema Ecológico de bosques semidecúdos higrofíticos y freatofíticos de Santa Cruz y la Chiquitanía***

*Bosques altos semidecúdos estacionalmente inundados con abundantes lianas leñosas*

Bosques dominados y caracterizados por árboles que se comportan como mesofíticos a higrofíticos a nivel regional. Sistema que representa la vegetación climácica potencial de los fondos de valle del escudo precámbrico chiquitano, donde tienen disposición linear siguiendo los cauces fluviales o su zona de influencia. Además, constituyen la matriz extensiva del paisaje de la llanura aluvial antigua del Río Grande en la región de Santa Cruz. Se desarrollan sobre suelos con horizontes superiores generalmente bien drenados todo el año o gran parte de él; sin embargo, es frecuente la presencia de mal drenaje sub-superficial estacional o incluso anegamiento somero temporal en los fondos de valle del escudo, así como de forma general la existencia de niveles freáticos difusos y oscilantes, accesibles al menos temporalmente a las raíces de los árboles. Se desarrolla sobre llanuras aluviales con niveles freáticos poco profundos, piedemontes con suelos profundos húmedos y fondos de valles fluviales temporalmente algo anegados. Ombroclima termotropical inferior subhúmedo a húmedo inferior.

***Sistema Ecológico de bosques subhúmedos semidecúdos Chiquitanos transicionales con el Chaco***

*Bosques altos semidecúdos estacionalmente inundados transicional al Chaco*

Sistema que agrupa algunas asociaciones de bosques chiquitanos distribuidas en el límite suroccidental de la Provincia Biogeográfica del Cerrado en Bolivia (sureste de Santa Cruz), en su zona de contacto y transición hacia la Provincia Biogeográfica del Chaco Boreal. Se desarrollan tanto sobre las estribaciones meridionales de las serranías rocosas marginales del escudo precámbrico, como en las zonas bien a medianamente bien drenadas de las llanuras aluviales antiguas de los ríos Tucavaca y Otuquis. Estas zonas tienen un bioclima termotropical inferior pluviestacional, con ombroclima subhúmedo inferior ( $I_o = 3.6-4.0$ ) casi en el límite con el ombroclima seco. Estructuralmente son bosques densos, con dosel semidecúdo a decúdo de 15-20 m de altura media y ricos en lianas leñosas. El grado de defoliación de estos bosques parece variar en relación a la intensidad de la época seca según los años. Florísticamente, se caracterizan por la superposición de varios elementos chaqueños sobre el fondo de flora típica de los bosques chiquitanos. Sistema muy amenazado por el avance de la frontera agrícola, con grandes tasas de deforestación en los últimos años. Se desarrollan principalmente sobre laderas de las serranías chiquitanas meridionales, con suelos bien drenados. Ombroclima termotropical inferior subhúmedo inferior.

***Sistema Ecológico de bosques subhúmedos semidecúdos de la Chiquitanía y el Beni***

*Bosques altos semidecúdos estacionalmente inundados transicionales de la Chiquitanía y el Beni*

Sistema ecológico que agrupa varias asociaciones de bosques semidecúdos que constituyen la vegetación potencial climácica natural de los suelos bien drenados no muy

antiguos (luvisoles, cambisoles) del suroeste del escudo precámbrico brasileño y de las alturas topográficas del Beni oriental. Son bosques parcialmente caducifolios, con dosel de 20-25 m, varios estratos de sotobosque y abundantes lianas. Distribuidos en el este de Bolivia, pero florísticamente representan variantes de bosques similares existentes en el Brasil central. Se desarrollan en áreas con bioclima termotropical e infratropical marcadamente pluviestacional ( $Iod2 < 2.5$ ) y con ombroclima subhúmedo ( $Io = 3.6- 5.0$ ). Son bosques medianamente a intensamente afectados por extracción selectiva de maderas útiles, cacería, quemas y deforestación para ganadería. Sin embargo, existen todavía grandes extensiones en relativo buen estado de conservación. Desarrollado sobre laderas de cerros, valles y serranías del Escudo Precámbrico. Glacis detríticos del Escudo. Alturas del Beni. Sobre suelos no muy antiguos bien drenados (cambisoles, luvisoles, leptosoles). Ombroclima termotropical inferior subhúmedo.

***Sistema Ecológico de Cerradão de la Chiquitanía y el Beni***  
***Bosques bajos esclerófilos y semi-siempreverdes***

Bosques bajos, siempreverdes, con dosel semicerrado a semiabierto de unos 6-12 m de altura según las diferentes asociaciones, dominado por especies leñosas de hojas escleromórficas y troncos tortuosos con peridermis notablemente suberizadas. El sotobosque herbáceo es menor en las zonas menos impactadas y aumenta aparentemente en relación al grado de apertura del dosel por las quemas y el uso ganadero. En Bolivia (Chiquitanía de Santa Cruz y norte del Beni), es un sistema ecológico que ocupa notables extensiones en mosaico en el paisaje con los bosques chiquitanos semidecíduos, en función de los suelos. En la gran mayoría de los casos conocidos, los chaparrales esclerófilos son propios de los suelos lateríticos antiguos muy desaturados o ácidos, con horizontes de diagnóstico óxicos o kándicos o ferrálicos en el sentido. Sin embargo, los chaparrales aparecen también localmente sobre suelos poco profundos y pedregosos en situaciones topográficas de cumbres de serranías. El sistema ocupa áreas con termoclima infratropical y termotropical ( $It > 610$ ) marcadamente pluviestacionales ( $Iod2 < 1.5$ ) y con ombroclima subhúmedo ( $Io = 3.6-5.5$ ).

Desarrollado sobre penillanuras y mesetas lateríticas con suelos muy antiguos desaturados ferral-soles, acrisoles o serranías con suelos muy pedregosos poco evolucionados (leptosoles líticos y ferrálicos). Ombroclima termotropical e infratropical subhúmedo a húmedo inferior.

***Sistema Ecológico de chaparrales esclerófilos de la Chiquitanía transicionales con el Chaco***

***Bosques bajos esclerófilos y semidecíduos***

Sistema de bosques bajos escleromórficos con dosel denso a discontinuo de 5-10 m de alto, que se distribuyen en los suelos arenosos de los amplios glacis eólicos del sur de la Chiquitanía, en su límite con el Chaco Boreal, desde el sureste del departamento de Santa Cruz hasta el extremo norte del Paraguay adyacente, donde penetran algo hacia el sur del hito fronterizo Chovoreca (departamento Chaco). Estas áreas constituyen la transición entre el bioclima pluviestacional subhúmedo y el xérico seco ( $Io = 2.5-3.7$ ). Son bosques siempreverdes estacionales a parcialmente caducifolios con estructura algo

similar a la de los bosques chaqueños. Sin embargo, no presentan cactáceas y la flora está mayoritariamente compuesta por especies comunes con los chaparrales del Cerrado arriba descritos, a las que se añaden unas pocas especies chaqueñas. Los principales ambientes donde se desarrollan son superficies con cobertera eólica arenosa del extremo suroeste del Escudo Precámbrico Brasileño. Sobre suelos arenosos rubificados, profundos (arenosoles lúvicos y ferrálicos). Ombroclima termotropical inferior seco a subhúmedo inferior.

***Sistema Ecológico de sabanas higrofíticas con montículos del Cerrado***  
*Complejo de sabanas arbustivas esclerófilas y pastizales abiertos estacionalmente inundables*

El sistema se caracteriza por la combinación de una formación de sabana gramínea abierta, estacionalmente inundable y vegetación arbustiva de cerrado creciendo sobre montículos redondos de tierra y termiteros, que pueden tener un diámetro de 1 a varios metros y una altura de 0.1 - 2m. El suelo puede ser coluvial, como es el caso en la región del Cerrado o puede ser aluvial, como en el Pantanal, donde cubre extensiones enormes. La fuente de agua puede ser subsuperficial o freática, o efectivamente el pastizal de la planicie de inundación se cubre estacionalmente de una lámina de agua poco profunda. La densidad de los montículos por área es variable, desde muy pocos hasta 80% del área.

En la Chiquitana se desarrolla sobre llanuras aluviales antiguas temporalmente anegadas de forma somera y parcial, con suelos areno-limosos y arcillosos con microrelieve gilgai notorio. Ombroclima termotropical inferior e infratropical subhúmedo. En el Cerrado sobre montículos de tierra de textura fina, hasta 2m de alto y varios metros de diámetro, rodeados de suelo coluvial, producto de sedimentos antiguos. Cubren extensiones pequeñas (pocas has.) y generalmente están los valles, entre el cerrado de interfluvios y el pastizal inundable. En el Pantanal se encuentran en las grandes planicies de inundación sobre terreno aluvial. Ombroclima subhúmedo.

***Sistema Ecológico de sabanas herbáceas oligotróficas estacionalmente inundadas***  
*Sabanas herbáceas estacionalmente inundadas*

Herbazales gramíneos y ciperoides propios de las zonas estacionalmente inundadas del escudo precámbrico y partes del Beni, donde las aguas son mayormente no mineralizadas o sub-mineralizadas, generalmente ácidas y oligotróficas. Constituyen formaciones densas de 0.5-1.5 m de altura por término medio, incluyendo varias asociaciones en función del gradiente de inundación. Se desarrollan sobre depresiones topográficas y llanuras aluviales del Escudo Chiquitano, inundadas con aguas no mineralizadas y oligotróficas temporalmente. Ombroclima termotropical inferior e infratropical, subhúmedo a húmedo inferior.

### ***Sistema Ecológico de sabanas saxícolas de la Chiquitanía***

#### ***Sabanas abiertas herbáceas saxícolas***

Sabanas abiertas herbáceas, con presencia variable de arbustos o matorrales y de subfrútices xeromórficos, que se desarrollan sobre suelos pedregosos poco profundos (leptosoles líticos), a menudo en las zonas culminantes de los reversos de los relieves monoclinales (cuestas) de las serranías chiquitanas. Estos suelos, formados a partir de rocas areniscas (sandstones) son generalmente de texturas arenosas o franco-arenosas y excesivamente drenados, desecándose intensamente varios meses al año, desarrollados sobre mesetas rocosas de areniscas, en áreas de suelos delgados leptosoles líticos que se secan intensamente. Ombroclima termotropical inferior subhúmedo.

### ***Sistema Ecológicos de vegetación acuática y palustre neotropical de la Chiquitanía y el Beni***

#### ***Vegetación de aguas claras y negras***

Sistema que agrupa numerosas asociaciones de plantas acuáticas, incluyendo helófitos, pleustófitos e hidrófitos, que se distribuyen en los cuerpos de agua permanentes o semi-permanentes del escudo precámbrico, en aguas que son mayormente no mineralizadas o sub-mineralizadas (claras y negras). Además, incluye al conjunto de comunidades vegetales acuáticas propias de los cuerpos de agua del Beni, donde el agua es primariamente sobre todo de carácter mesomineralizado y mesotrófico (aguas blancas); sin embargo, en las llanuras meándricas, las lagunas de origen fluvial más antiguas y desconectadas de los cauces actuales, han sufrido un paulatino proceso de empobrecimiento del agua que llega a ser agua negra secundaria. Vegetación que se desarrolla sobre cuerpos de agua del escudo precámbrico chiquitano, con aguas no mineralizadas oligotróficas. Llanuras aluviales del Mamoré-Beni, con aguas blancas hipomineralizadas y mesotróficas. Ombroclima termotropical inferior e infratropical, subhúmedo a húmedo inferior.

### ***Sistema Ecológico de bosques abiertos y sabanas arboladas higrofíticas del Pantanal suroccidental***

#### ***Bosques medios deciduos y sabanas arboladas***

Conjunto de comunidades vegetales integrado por bosques bajos o medios (6-10 m de alto), densos a semiabiertos y sabanas arboladas a veces con palmares, que se desarrollan en suelos desde muy mal drenados a estacionalmente anegados o inundados de forma somera. Ocupan las semialturas morfológicas del Pantanal suroccidental en Bolivia (Santa Cruz), extremo oeste de Brasil (Mato Grosso do Sul) y extremo noreste del Paraguay (Alto Paraguay). Se trata de un ecosistema inundable estacionalmente por lluvias y con variación fisonómica y ecológica debido al grado de alteración, la textura del suelo y a pequeños gradientes en el grado de saturación/inundación. Esta variación incluye desde sabanas con un estrato arbóreo dominado por palmares, hasta un bosque deciduo relativamente cerrado. Se interpretan estas semialturas como paleo-levées antiguos o como las porciones distales de los abanicos aluviales que descienden desde las mesetas areniscosas del escudo precámbrico. En toda su área de distribución, es un sistema fuertemente impactado por quemadas extensivas en época seca y uso ganadero.

Desarrollado principalmente sobre suelos arcillosos y también suelos arenoso-limosos, inundables. Ombroclima subhúmedo.

***Sistema Ecológico de bosques ribereños inundables del Pantanal occidental***  
*Bosques siempreverdes estacionales*

Bosques siempre verdes a siempreverdes estacionales que se disponen linealmente dando lugar a bandas de algunos kilómetros de anchura paralelas a los cauces del río Paraguay y de algunos de sus afluentes en el Pantanal. Ocupan los levées fluviales y las zonas relativamente más elevadas topográficamente de las llanuras de inundación inmediatamente adyacentes al río, en situaciones de inundación estacional desde algunas semanas hasta algunos meses, por aguas de desbordamiento de los cauces. Se desarrollan sobre suelos aluviales, estacional a semi-permanentemente anegados. Ombroclima subhúmedo.

***Sistema Ecológico de vegetación acuática y palustre neotropical del Pantanal***  
*Sabanas herbáceas inundadas y vegetación acuática*

Conjunto de pantanos permanentes herbáceos o arbustivos asociados a cuerpos de agua como lagunas y arroyos de curso lento que permanecen inundados (semi-)permanentemente. Propios del Pantanal en Brasil, Bolivia y extremo noreste del Paraguay. Incluye un gran número de comunidades o asociaciones vegetales, que se estructuran y reparten el espacio en función de los biotipos de las plantas dominantes y de la dinámica y las condiciones físico-químicas locales del agua de inundación. En las depresiones más profundas el desarrollo de los totorales (taboal) y pirizales, puede ser muy extensivo. En estos casos la vegetación perilacunar se caracteriza por adaptaciones como hojas carnosas o crasas y fácilmente caedizas. Principalmente se desarrollan sobre cuerpos de agua sin drenaje externo con aguas no mineralizadas, oligotróficas y llanuras aluviales del río Paraguay con aguas hipomineralizadas y mesotróficas. Ombroclima subhúmedo.

***Sistema Ecológico de arbustales riparios sucesionales del Chaco***  
*Bosques y arbustales riparios del Chaco*

Conjunto de bosques bajos, arbustales y matorrales de carácter sucesional ribereño, que colonizan las playas fluviales de los grandes ríos alóctonos y exorreicos del Chaco, sobre suelos aluviales periódicamente erosionados y re-depositados. Presentan una zonación típica, ordenándose en franjas en relación al gradiente de erosión/estabilidad del sustrato, de forma que la mayor complejidad estructural relativa (bosques bajos) se corresponde con la parte posterior más estable de las playas fluviales, mientras que los matorrales casi monoespecíficos son primocolonizadores en los mismos márgenes fluviales. Desarrollado principalmente sobre márgenes y playas fluviales. Ombroclima termotropical seco y subhúmedo.

***Sistema Ecológico de bosques higrofiticos del Chaco Septentrional***  
*Bosques higrofiticos chaqueños*

Sistema que agrupa asociaciones de bosques higrofiticos chaqueños desarrollados tanto a lo largo de los sistemas de cauces intermitentes temporales (cañadas y quebradas

chaqueñas) de carácter arreico o semi-endorreico, como en los márgenes de las depresiones fluvio-lacustres y lagunillas estacionales de aguas no salinas. Estos bosques se anegan sólo temporalmente de forma somera, pudiendo aprovechar el resto del año niveles freáticos difusos poco profundos. Generalmente están dominados por el árbol *Geoffroea striata* o por el Palo Blanco (*Calycophyllum multiflorum*). (Incluye: Bosques higrófilos con Palo Blanco, formaciones higrófilas de galería, Spichiger et al. 1991).

Los principales ambientes donde se desarrollan son llanuras aluviales de inundación recientes y márgenes externos de cuerpos de agua con suelos hidromorfos no salinos. Ombroclima termotropical seco y subhúmedo.

### ***Sistema Ecológico de bosques sobre suelos mal drenados del Chaco Septentrional occidental***

#### ***Bosques bajos y arbustales decíduos de Chaco estacionalmente inundados***

Bosques bajos y arbustales con dosel denso de 3-6 m y emergentes dispersos de 10-16 m de altura, que constituyen la vegetación climácica de los suelos mal drenados con texturas arcillo-limosas, a menudo de carácter vértico y con microrelieves gilgai (sartenejal). Estos suelos pueden resultar anegados temporalmente de forma somera en época de lluvias. En zonas bien conservadas, la altura de la formación disminuye cuanto mayor es la proporción de arcillas compactas en el suelo y con la mayor aridez del clima. (Incluye: Bosques de Quebracho y Palosanto, Cabrera 1994; Matorral xerohigrófilo de *Bulnesia sarmientoi* y *Tabebuia nodosa* Spichiger et al. 1991; Territorio del bosque de *Schinopsis lorentzii* y *Aspidosperma quebracho-blanco* con *Bulnesia sarmientoi*, Eskuche 1986). Se desarrolla sobre depresiones topográficas de las llanuras aluviales, con suelos pesados limoso-arcillosos o arcillosos mal drenados y estacionalmente anegados de forma somera en época lluviosa Salinidad leve a moderada. Ombroclima termotropical seco y semiárido.

### ***Sistema Ecológico de bosques sobre suelos mal drenados del Chaco Septentrional oriental***

#### ***Bosques semidecíduos densos del Chaco estacionalmente inundados***

Bosques chaqueños densos a semidensos, con dosel de 12-18 m de altura, desarrollados sobre suelos medianamente drenados hasta mal drenados en los horizontes inferiores. Constituyen la vegetación potencial climácica de las alturas y semialturas topográficas del Chaco Boreal Oriental, donde tienen tendencia a distribuirse en forma de manchas con geometría diversa, en medio de una matriz de sabanas y palmares inundable. Son propios de zonas con bioclima desde xérico seco hasta pluviestacional subhúmedo inferior del Chaco oriental del Paraguay y Argentina. (Incluye: Bosque xeromesófilo del Chaco húmedo, Spichiger et al. 1991; Territorio del bosque de *Schinopsis balansae* y *Astronium balansae* con *Diplokeleba floribunda*, Eskuche 1986). Se desarrolla sobre semialturas topográficas de las llanuras aluviales de inundación del este del Chaco con suelos mal drenados y con napa freática no muy profundas. Ombroclima termotropical subhúmedo.

***Sistema Ecológico de palmares inundables del Chaco Septentrional***  
*Palmares boscosos y sabanas arbustivas pastizales abiertos estacionalmente inundables del Chaco*

Sistema que agrupa los palmares boscosos del Chaco Boreal en Bolivia, Paraguay y Argentina. En estado poco intervenido, constituyen bosques semidensos a semiabiertos, dominados por la Palma Carandá (*Copernicia alba*) con la que se asocian diversas especies de árboles y arbustos higrófilos. Se desarrollan sobre suelos anegables de texturas finas arcillo-limosas, alcalinos, ricos en bases de cambio y a menudo algo salobres, pero no francamente salinos. Distribuidos en depresiones topográficas inundables por aguas de lluvia o en llanuras de inundación por desborde fluvial. En la mayor parte de su área de distribución, especialmente en el Chaco Oriental de Paraguay y Argentina, estos palmares boscosos han sido transformados antrópicamente en sabanas palmares por acción del fuego y del ganado. (Incluye: Matorral higrófilo mixto con Carandáy o con Labón, sabanas palmares del Chaco húmedo, Spichiger et al. 1991). Los principales ambientes en donde se desarrollan son llanuras aluviales de inundación estacional con suelos arcillosos vérticos alcalinos, ligeramente a moderadamente salobres. Ombroclima termotropical subhúmedo y seco.

***Sistema Ecológico de sabanas abiertas altas inundables del Chaco Septentrional oriental***

*Sabanas herbáceas abiertas estacionalmente inundables de Chaco*

Sabanas predominantemente herbáceas, con escasa a nula presencia de palmas, dominadas generalmente por grandes gramíneas y/o ciperáceas, que se inundan estacionalmente durante varios meses de la mayoría de los años, por aguas de hasta 1.5-2 m de profundidad. Se desarrollan en las zonas topográficamente más deprimidas de las llanuras de inundación fluvio-lacustre del Chaco Boreal Oriental en Paraguay y Argentina. Se desarrolla sobre bajíos o bajuras topográficas estacionalmente inundados por aguas de desborde fluvial. Ombroclima termotropical subhúmedo.

***Sistema Ecológico de vegetación de los salares inundables del Chaco***

*Palmares abiertos, arbustales y pajonales estacionalmente inundables del Chaco*

Conjunto de tipos de vegetación halófilos, que se desarrollan en las playas salinas de las depresiones fluvio-lacustres del Chaco Boreal, en ambientes endorreicos semiáridos donde las aguas se concentran por evaporación. Distribuidos en Bolivia, Paraguay y norte de Argentina, ocupando generalmente áreas localizadas. Presentan una zonación característica, distribuyéndose los palmares en la zona más externa y menos anegable, mientras que los arbustales y matorrales suculentos y los herbazales se disponen en una franja más interna, muy salina y más inundable. Es una formación propia de ombroclimas xéricos semiáridos. (Incluye: Estepas halófilas, Spichiger et al. 1991). Desarrollado sobre depresiones fluvio-lacustres endorreicas con acumulación de sales por evaporación. Ombroclima termotropical y mesotropical seco a semi-árido.

***Sistema Ecológico de bosques transicionales de cerros del Chaco Septentrional a la Chiquitania***

***Bosques semidecíduos bajos transicionales del Chaco a la Chiquitania***

Sistema de bosques chaqueños climáticos desarrollados sobre suelos poco profundos con afloramientos de roca. La vegetación es en su mayoría semi-decídua y baja en comparación con los bosques de planicie. Crecen en cerros de origen silurico y compuestos por areniscas claras y cuarcíticas con suelos poco profundos del N del Chaco Septentrional paraguayo, hasta 800 m de elevación.

***Sistema Ecológico de bosques transicionales de llanura aluvial del Chaco Septentrional a la Chiquitania***

***Bosques decíduos transicionales del Chaco a la Chiquitania***

Sistema que agrupa el conjunto de bosques decíduos, con dosel de 12-18 m de alto semi-denso e irregular. Se desarrollan en suelos medianamente bien drenados hasta algo imperfectamente drenados de las llanuras aluviales antiguas del Río Grande y norte del Parapetí. Representa la franja limítrofe septentrional del Chaco en su contacto con los bosques Chiquitanos de la región de Santa Cruz en Bolivia. En su composición florística predominan elementos chaqueños presentando además un número notable de individuos de especies florísticas de los bosques chiquitanos. Se desarrollan sobre suelos imperfectamente drenados limoso arcillosos de llanura aluvial.

***Sistema Ecológico de Sabanas arboladas de los arenales del Chaco noroccidental***

***Herbazal xerofítico con árboles y arbustos dispersos  
(desarrollo óptimo en la época de lluvias)***

Este sistema, en Bolivia, representa en muchos casos un aspecto secundario sucesional de los bosques de arenales, de los cuales pueden derivar antropogénicamente por quema y uso ganadero. Estructuralmente son herbazales mixtos, perennes y anuales, de gramíneas y forbias con subfrutices y algunas leñosas dispersas o de baja cobertura total. Presentan una fenología fuertemente condicionada por la época anual de lluvias. En muchas zonas, en el nivel herbáceo suele ser dominante la gramínea perenne *Aristida mendocina* y algunos terófitos de lluvia como *Richardia scabra*. (Incluye: Sabanas de matorrales sobre arenas eólicas, sabanas arboladas y arbustivas, Spichiger et al. 1991). Se desarrollan principalmente sobre llanuras eólicas arenosas y campos dunares Arenaletales de origen fluvial. Presenta un ombroclima termotropical semiárido.

***Sistema Ecológico de Bosques de arenales del Chaco noroccidental***

***Bosques decíduos a semidecíduos semicerrados***

Bosques con dosel desde semicerrado a semiabierto, que se desarrollan sobre suelos de textura arenosa. Estos suelos se originan en las superficies eólicas y campos dunares del Chaco Boreal noroccidental, así como a partir de los sedimentos consolidados de rocas areniscas que constituyen los cerros y colinas aislados del Gran Chaco Boreal, principalmente en Bolivia, estando al parecer ausentes del noroeste de Paraguay. La composición florística es muy característica, siendo importantes varias especies endémicas o subendémicas de los arenales del Chaco, entre las que destaca *Schinopsis*

cornuta, árbol dominante y característico del sistema. Estos bosques representan la vegetación clímax psammófila regional, pero en gran parte de su área se hallan impactados en diversos grados por quemadas, uso ganadero y extracción de leña. Además, soportan procesos de erosión eólica en diversos grados. Los principales ambientes donde se desarrollan son llanuras con cobertura eólica arenosa, campos dunares y cerros chaqueños con litología de areniscas. Ombroclima termotropical semiárido.

***Sistema Ecológico de Vegetación acuática y palustre neotropical del Chaco***  
***Comunidades de helófitos, pleustófitos e hidrófitos***

Sistema que representa un complejo de asociaciones de plantas acuáticas y palustres, propio de los cuerpos de agua del Chaco, principalmente del Chaco Boreal oriental. La composición florística muestra zonaciones repetitivas típicas, en función del gradiente de profundidad del agua, composición de la misma y ubicación geográfica. Se desarrolla principalmente en cuerpos de agua permanentes y semipermanentes. Presenta un ombroclima termotropical seco y subhúmedo.

***Sistema Ecológico de Bosques inundables ribereños del Chaco***  
***Bosque siempreverde estacionalmente inundado***

Sistema ripario propio de las llanuras aluviales de inundación de los ríos Parapetí (Bañados del Izozog), y Paraguay, en Bolivia, Paraguay y norte de Argentina. Son bosques densos, desde semi-caducifolios a siempreverdes estacionales, dominados generalmente por el árbol *Albizia inundata*. Se desarrollan en suelos limosos o arcillo-limosos con propiedades flúvicas, que se inundan varios meses al año por aguas mesotróficas, hipo-mesomineralizadas, de desbordamiento fluvial, las cuales en su mayor parte fluyen lentamente por la llanura de inundación. Los principales ambientes en las que se desarrolla este sistema ecológico comprenden llanuras aluviales de inundación recientes, con suelos flúvicos no salinos. Tiene un ombroclima termotropical seco y subhúmedo.

### ***3.9 Mapa de dinámica de inundación***

Las inundaciones son un evento natural y recurrente para los sistemas acuáticos. Estadísticamente, estos sistemas igualarán o excederán la inundación media anual, cada 2,33 años (Leopold et al. 1984). Las inundaciones son el resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos, riachuelos y áreas costeras. Esto hace que un determinado curso de aguas rebalse su cauce e inunde tierras adyacentes. Las llanuras de inundación son, en general, aquellos terrenos sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia, y ubicados en zonas adyacentes a los ríos y cursos de agua. Las llanuras de inundación son, por tanto, "propensas a inundación".

Se pueden observar las llanuras de inundación desde varias perspectivas diferentes: "La definición de llanuras de inundación depende algo de las metas que se tenga en mente. Como categoría topográfica es muy plana y se encuentra al lado un río; geomorfológicamente, es una forma de terreno compuesto primariamente de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el río en cuestión;

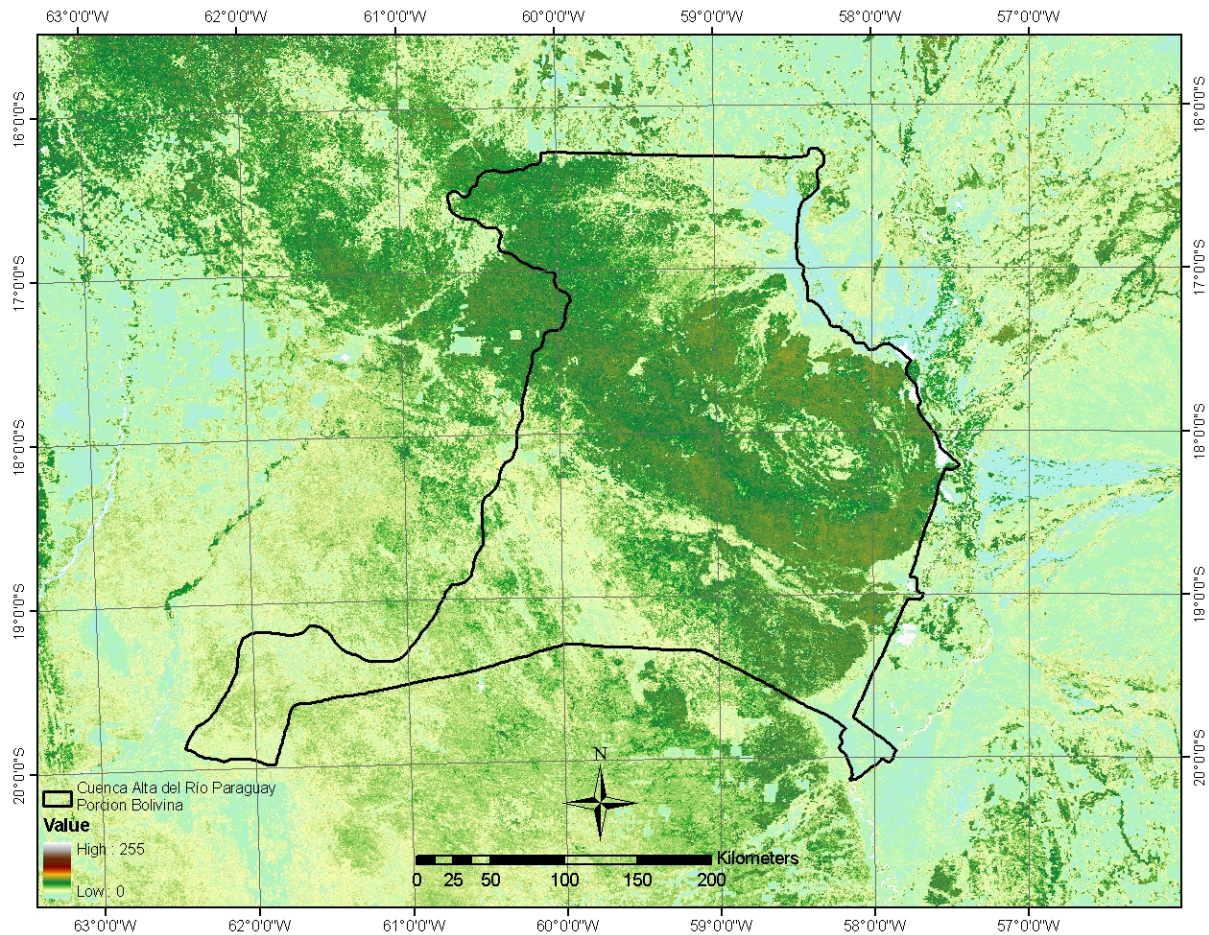
hidrológicamente, está mejor definida como una forma de terreno sujeta a inundaciones periódicas por un río padre. Una combinación de estas características posiblemente cubre los criterios esenciales para definir una llanura de inundaciones" (Schmudde 1968). Más sencillamente, una llanura de inundación se define como "una franja de tierra relativamente plana, junto a un río y que sufre desborde de las aguas durante las crecidas" (Leopold *et al.* 1964).

La frecuencia de inundaciones depende del clima, del material de las riberas del río y la pendiente del canal. Cuando ocurre copiosa precipitación en una determinada estación cada año, o la inundación anual es resultado del deshielo, las llanuras de inundación pueden ser inundadas casi todos los años, aún a lo largo de grandes ríos con muy poca pendiente de canal. En las regiones que no sufren extensos períodos con temperaturas bajo cero (zonas tropicales y subtropicales), las inundaciones generalmente ocurren en la época de mayor precipitación.

### **3.7.1 Inundaciones para los cinco años estudiados (2000, 2002, 2004, 2006 y 2008)**

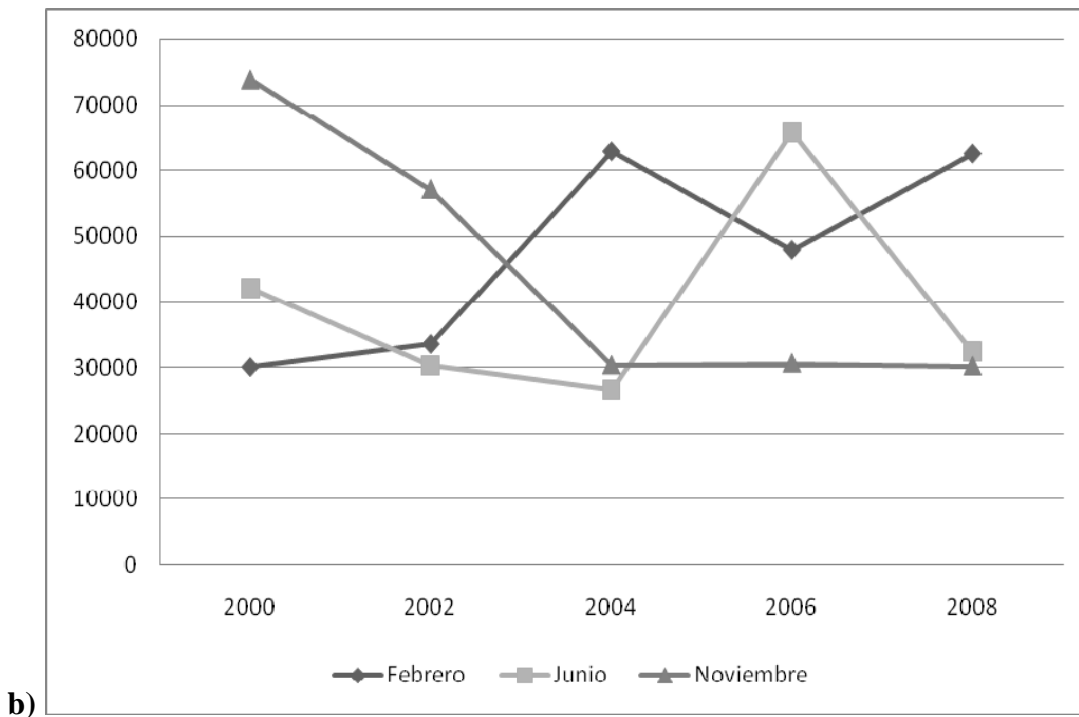
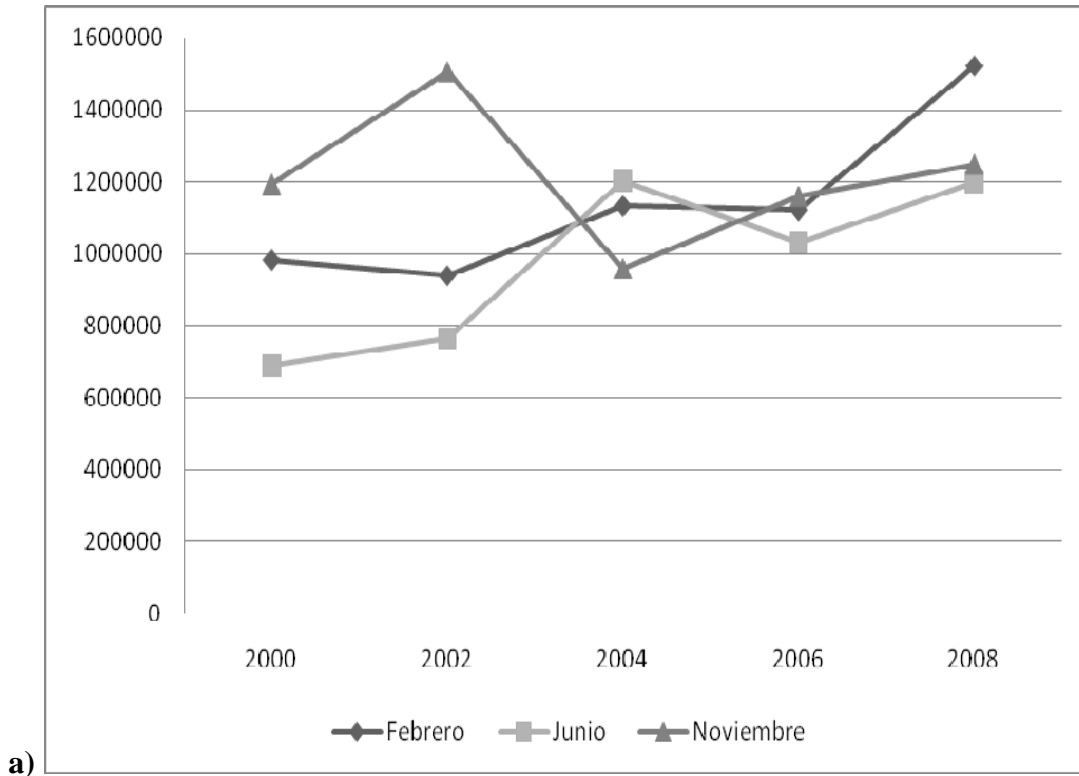
El Pantanal es un ecosistema de humedal con un ciclo estacional de inundación y aguas bajas. Esta dinámica crea un número de paisajes que son heterogéneos espaciales y temporales. Estos paisajes incluyen cuerpos de agua dulce y salado, pastizales inundados periódicamente y secciones de bosques que son altamente heterogéneos en disposición espacial, producto de su respuesta a las inundaciones (Kux & Henebry 1997).

En base la clasificación de las imágenes MODIS se muestra un patrón similar de dinámicas para los 5 años de estudio, principalmente para las áreas con inundación temporal (figura 12 y figura 13a), un caso particular se observa para el mes de noviembre del año 2002 (figuras 13 a, 14 y 16), puesto que muestra una gran superficie (la mayor área inundada de los cinco años de estudio) llegando a ocupar un 15% de la superficie total del área de estudio y que esta por encima del promedio de inundaciones para el mismo mes en los 5 años de estudio (12,38% de superficie inundada), este patrón se debe principalmente a que a finales del 2002 se registró uno de los mayores periodos de precipitación (180 mm precipitación acumulada) (Adami *et al.* 2008), para los últimos diez años en el área de estudio. Un caso similar se observa para el mes de febrero del 2008 (tabla 11) que también ocupa un 15% del área total estudiada; dicho mes tiene un promedio para los cinco años de 11,62, con una menor superficie ocupada para el año 2002 (9,58%).



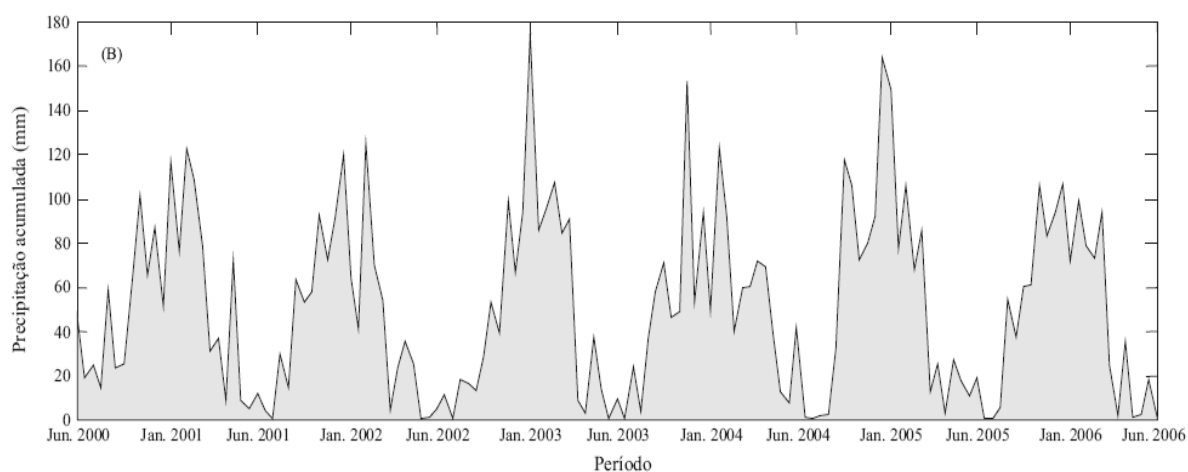
**Figura 12. Modelo de inundación generado en base a Imágenes MODIS Aqua de resolución espacial de 500 metros. Valores bajos (colores celestes a blancos) indican áreas más propensas a inundaciones periódicas, así como también áreas antrópicas.**

Otro patrón observable es que para los tres meses del año 2000 (100 mm precipitación acumulada) se tiene la menor superficie de áreas inundadas y el año 2008 el que presenta la mayor superficie inundada, lo cual está fuertemente relacionado por las precipitaciones registradas para el área de estudio (figura 13 y 14).



**Figura 13. Superficies en hectáreas para los cinco años de estudio y tres meses por años. En a) superficies de áreas inundables y b) superficies de cuerpos de agua permanentes.**

Para el caso de las dinámicas de los cuerpos de agua permanentes existe una diferencia notoria en la superficie de los cuerpos para los cinco años estudiados, indicando que para el mes de noviembre del año 2000 fue la mayor extensión ocupada por los cuerpos de agua permanentes (73849 ha), de ahí los siguientes años analizados para el mismo mes indica un decrecimiento en sus superficies, estabilizándose en el año 2004 y no cambiando drásticamente (figura 13b y tabla14). Para el caso del mes de junio (en los cinco años de estudio) se muestra un decrecimiento de las superficies ocupadas por los cuerpos de agua desde el 2000 hasta el 2004, habiendo un gran incremento para el año 2006 y nuevamente un decrecimiento para el año 2008 (figura 13b), el mes de enero muestra un patrón casi uniforme de aumento y decrecimiento de las superficies ocupadas por los cuerpos de agua permanentes, lo que puede indicar una relativa estabilidad de los sistemas acuáticos en este mes.



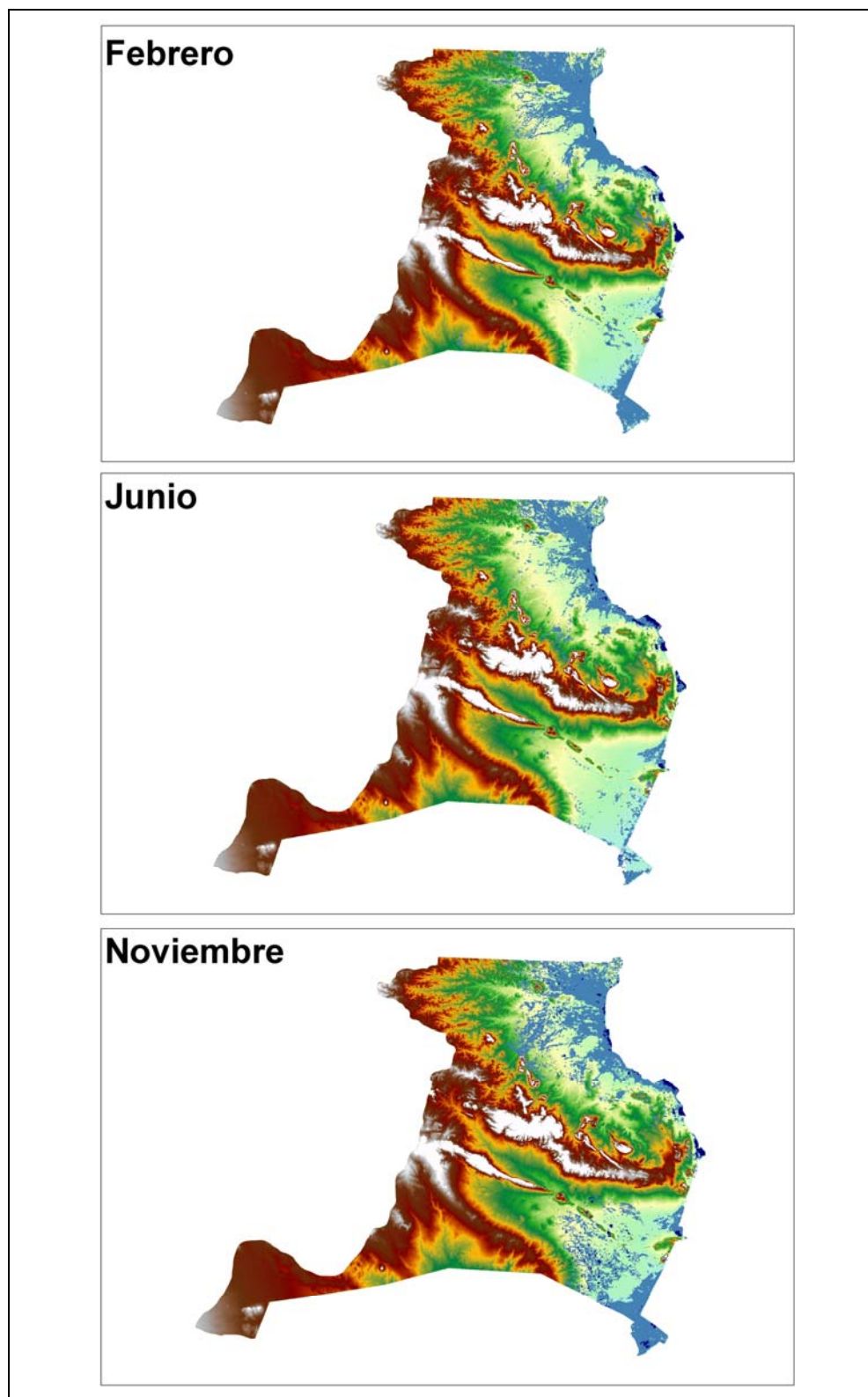
**Figura 14. Precipitación acumulada para seis años (2000-2006) en el Pantanal. Fuente (Adami et al. 2008)**

Aunque en este estudio no se realizó ningún análisis estadístico de correlación entre las áreas inundadas y la precipitación, otros estudios como el de Adami et al. (2008) indican una correlación muy fuerte entre la precipitación acumulada y las superficies ocupadas por áreas inundadas para el Pantanal.

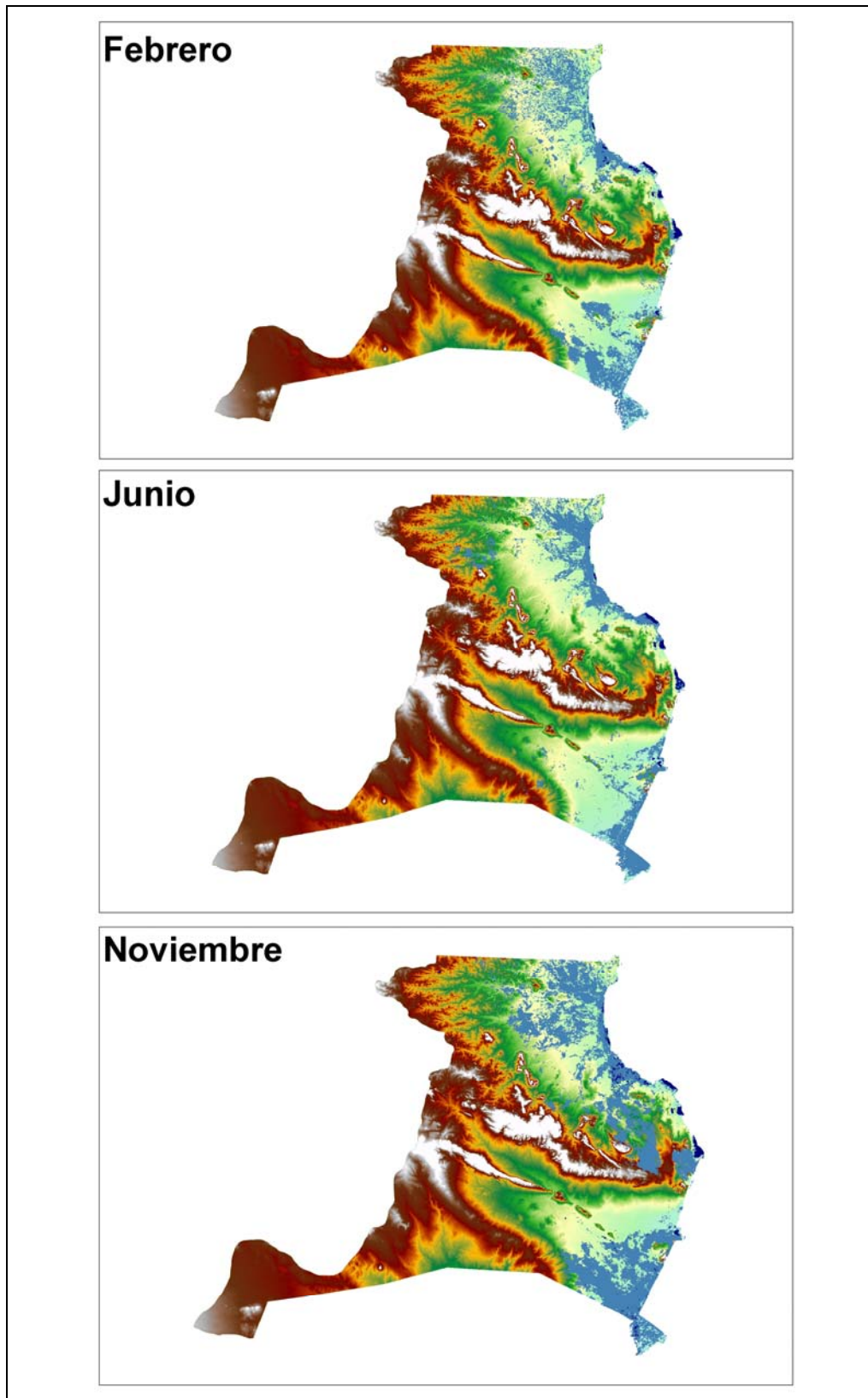
**Tabla 11. Superficies en hectáreas y porcentajes ocupados por los cuerpos de agua permanentes y áreas inundadas para la parte Boliviana de porción alta de la cuenca del río Paraguay, en los cinco años de estudio de las dinámicas de inundación. Superficie total de la parte Boliviana de la Cuenca 9.806.259 hectáreas.**

Periodo de análisis	Cuerpos de agua permanente		Inundado estacionalmente	
	Febrero	%	Febrero	%
2000	30058	0,307	982851	10,023
2002	33549	0,342	939632	9,582
2004	62786	0,640	1133278	11,557
2006	47924	0,489	1121906	11,441
2008	62452	0,637	1521287	15,513
	Junio		Junio	
2000	42097	0,429	690003	7,036
2002	30443	0,310	765316	7,804
2004	26696	0,272	1203687	12,275
2006	65712	0,670	1032296	10,527
2008	32548	0,332	1199888	12,236
	Noviembre		Noviembre	
2000	73849	0,753	1194575	12,182
2002	57139	0,583	1505834	15,356
2004	30366	0,310	960116	9,791
2006	30649	0,313	1159665	11,826
2008	30212	0,308	1249788	12,745

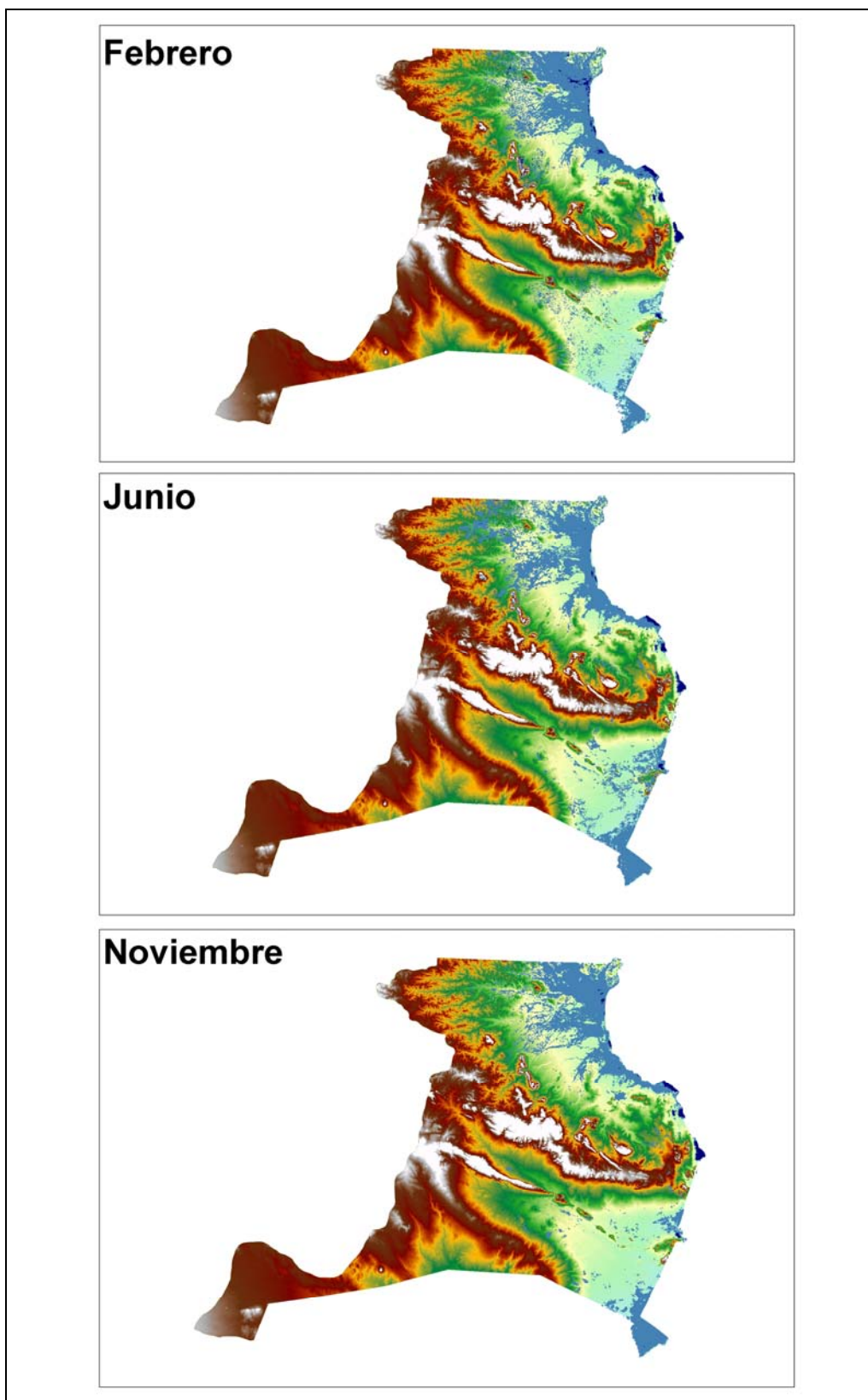
A continuación se muestran gráficamente los modelos de cartográficos de inundación para los cinco periodos de estudio (2000, 2002, 2004, 2006 y 2008), generados en base a una clasificación no supervisada de imágenes MODIS aqua, utilizando MODIS terra para las fechas que no se pudieron conseguir MODIS aqua. Es importante señalar que se uso modelos de elevación digital (DEMs) elaborado en base a curvas de nivel cada 5 metros y pixeles ajustados a una resolución espacial de 30 metros para corroborar las áreas inundables.



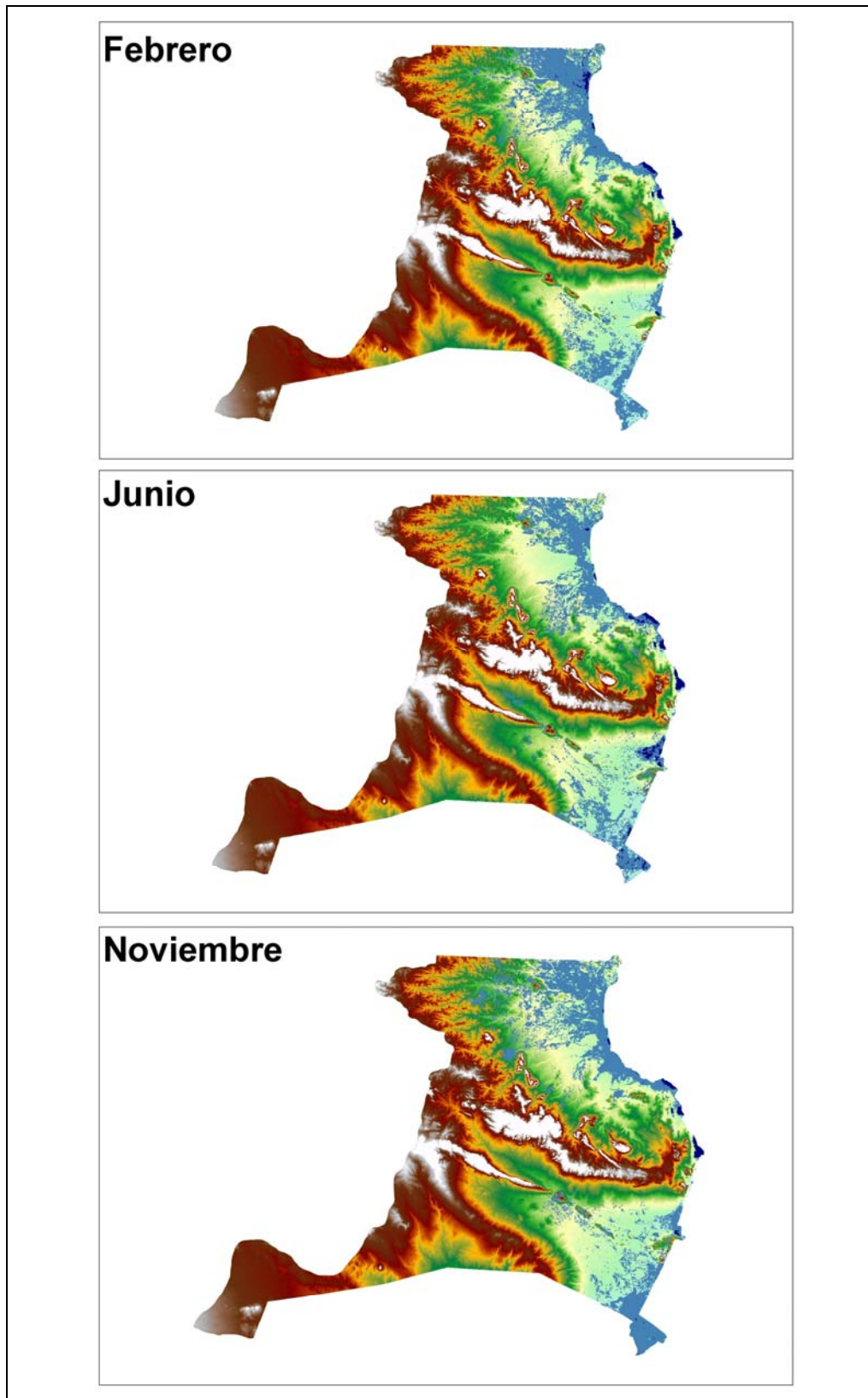
**Figura 15. Dinámica de inundaciones para el año 2000. En azul oscuro (cuerpos de agua permanentes), azul claro (áreas inundadas estacionalmente).**



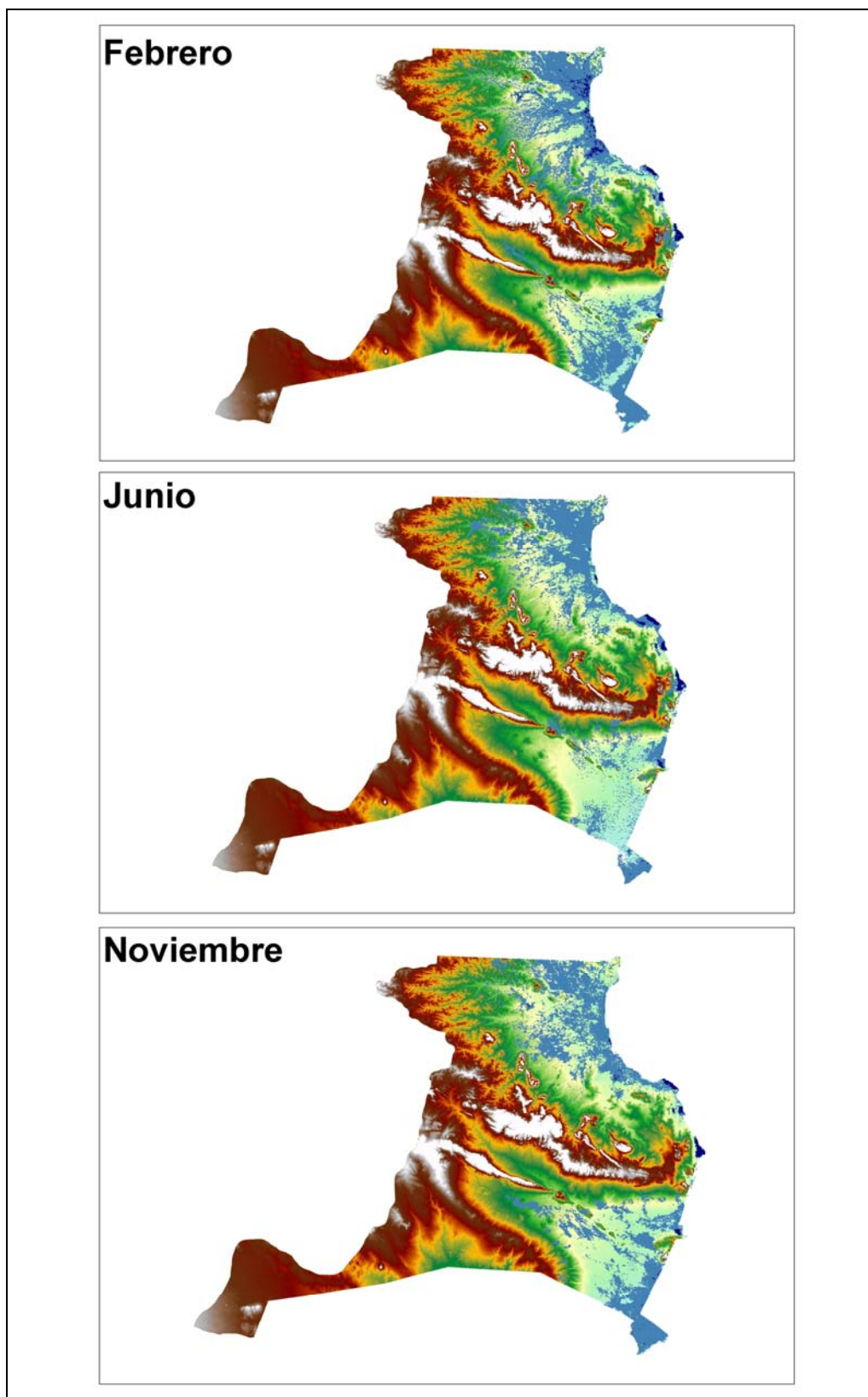
**Figura 16. Dinámica de inundaciones para el año 2002. En azul oscuro (cuerpos de agua permanentes), en azul claro (áreas inundadas estacionalmente).**



**Figura 17. Dinámica de inundaciones para el año 2004. En azul oscuro (cuerpos de agua permanentes), en azul claro (áreas inundadas estacionalmente).**



**Figura 18. Dinámica de inundaciones para el año 2006. En azul oscuro (cuerpos de agua permanentes), en azul claro (áreas inundadas estacionalmente).**



**Figura 19. Dinámica de inundaciones para el año 2008. En azul oscuro (cuerpos de agua permanentes), en azul claro (áreas inundadas estacionalmente).**

### **3.10. Consideraciones finales**

Los resultados obtenidos mediante la elaboración de los modelos cartográficos de inundación muestran las áreas inundadas estacionalmente, así como las dinámicas de los cuerpos de agua permanentes (ríos y lagunas), lo cual indica que los modelos elaborados sirven como buenos predictores sobre las dinámicas de inundación en la porción alta de la cuenca del río Paraguay (Parte Boliviana). De esta manera, los resultados nos proveen de datos que nos pueden ayudar a determinar los posibles cambios en los sistemas naturales ya que estos pueden ser predichos porque las inundaciones están fuertemente asociados en primera instancia a los niveles de precipitación y al relieve del terreno en el área de estudio.

También la información obtenida nos muestra la distribución de las áreas inundadas con mayor grado de inundación (modelos de inundación) lo cual nos puede ayudar a describir la distribución de los patrones espaciales en el área de estudio y los impactos sobre las comunidades naturales cuando la cantidad y distribución de pixeles de un determinado hábitat (sistema ecológico) presente un tipo particular de cambio.

Es por eso que, los resultados obtenidos a partir de las imágenes satelitales pueden ser usados para probar la performance de un modelo de inundaciones que puede ser usado para el manejo de la vida silvestre en un área particular. Teniendo en cuenta que las variaciones geográficas en el área de estudio podrían causar diferencias en la disponibilidad de recursos en los distintos tipos de hábitat.

Los resultados obtenidos en este trabajo tienen varias implicaciones para la conservación, el manejo y la gestión de los hábitats en la porción alta de la cuenca del río Paraguay, y posiblemente, otras áreas dominadas por pequeñas y dispersas zonas húmedas. Como es el caso del Pantanal y los humedales temporales que se encuentran en toda la cuenca y las desembocaduras de distintos afluentes de la cuenca, los cuales son utilizados por muchas especies de vida silvestre como áreas de alimentación y descanso, además de sustento para muchas comunidades humanas asentadas en la zona. Puesto que la presencia de agua es un fuerte predictor de la presencia de distintas especies de vida silvestre, demostrando la importancia de proteger los humedales (Long y Ralph 2001, Niemuth et al. 2006, Pinto 2009).

Las características ecológicas, y la historia nos permiten entender acerca de cómo los humedales varían en el área de estudio, de manera que los resultados obtenidos pueden ser aplicados en la planificación del desarrollo y gestión del Pantanal. De manera que las subcuencas de los humedales no sean consideradas de manera individual, lo que permitirá que los esfuerzos de conservación no estén enfocados en un solo lugar sino también en otros humedales que forman parte del gran complejo que tiene el área de estudio, sean estos naturales y/o agrícolas.

En base a los resultados, por un lado las áreas mapeadas son parte fundamental del paisaje, entonces su manejo y conservación debe ser prioritaria. Por otro lado, los ríos que desembocan en la cuenca forman complejos de bañados y áreas inundadas, por tanto las diferentes actividades que se desarrollan en el área de estudio y en áreas vecinas influyen en la variación estructural de los humedales. Por lo que la sociedad en

general debe apoyar la conservación de los hábitats a distintas escalas (i.e. paisajes, vida silvestre) ya que en la medida que estos se conserven y se asegure su permanencia en el tiempo se conservará y mantendrá la calidad de vida de la población local.

Entonces es fundamental que las autoridades y la población local se involucre y conozca la magnitud de los efectos de cambio de la estructura de los humedales como un problema para la conservación de los sistemas naturales y vida silvestre del área de estudio y que se reconozca a estas áreas como un elemento fundamental en el paisaje que provee recursos y servicios indispensable para mantener la calidad de vida en la región.

Por último, a partir de los resultados obtenidos es posible desarrollar modelos de desarrollo bajo distintos escenarios de manejo. Esto es muy importante para la planificación y manejo territorial, lo que nos permite evaluar el impacto de las distintas actividades previstas en los escenarios de manejo y realizar una mejor zonificación del área de estudio, constituyendo una importante herramienta para la conservación de la vida silvestre. Entonces, para asegurar la conservación de los humedales es fundamental que se estructure un ordenamiento territorial eficiente para la cuenca, basado en los tratados internacionales que la hacen un área de interés internacional para la conservación. Esto debe hacerse de manera coordinada con las poblaciones que se encuentran dentro de la cuenca o en sus cercanías, tratando de unificar esfuerzos para un mejor manejo y conservación de los humedales como hábitat para la vida silvestre y las poblaciones humanas, y de esta manera evitar conflictos con la sociedad.

### **3.11. Sugerencias de nuevos estudios**

Es importante mencionar debido a que la clasificación del mapa de vegetación en base a sistemas ecológicos se desarrollo principalmente en base a datos secundarios, el mismo necesita una validación de campo, para probar que la clasificación desarrollada este correcta.

Para esto, se sugiere que se desarrollen distintos trabajos, lo cual no implica que se solo se verifique el mapa de vegetación sino también se obtengan nuevos resultados que puedan servir para mejorar la toma de decisiones en cuanto a manejo y conservación se refiere. En este sentido los trabajos sugeridos son los siguientes:

1. Evaluación de la clasificación de los mapas de vegetación y uso de suelo.
2. Re-clasificación de los tipos de vegetación (sistemas ecológicos) y su correspondencia con la información de uso actual de suelo.
3. Unión de mapas de vegetación y uso de suelo de la parte boliviana y brasilera de la cuenca.
4. Análisis de los patrones y procesos antrópicos que determinan la estructura de los paisajes de la porción alta de la cuenca del río Paraguay.

## **4 Bibliografía**

- Arroyo, L. 1995. Estructura y composición de una isla de bosque y un bosque de galería en el Parque Nacional Noel Kempff Mercado. Tesis de licenciatura UAGRM. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Adami, M., R. Morais de Freitas, C.R. Padovani, Y.E. Shimabukuro & M. Alves. 2008. Estudo da dinâmica espaço-temporal do bioma Pantanal por meio de imagens MODIS. Pesquisa agropecuária brasileira 43 (10): 1371-1378,
- Albert, D. A. 1995. Regional Landscape Ecosystems of Michigan, Minnesota, And Wisconsin: A Working Map and Classification. U.S. Forest Service General Technical Report NC-178. North Central Forest Experiment Station, St. Paul, Minnesota, Estados Unidos.
- Cabrera, A. L. 1994. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II, fascículo 1. 85 p. Primera Reimpresión. Editorial ACME. S.A.C.I. Buenos Aires, Argentina.
- Cabrera, A. L. & A. Willink. 1973. Biogeografía de América Latina. OEA. Washington DC, Estados Unidos.
- Campbell, D. G. & H. D. Hammond (eds.). 1989. Floristic Inventory of Tropical countries. New York Botanical Garden, Bronx. New York, Estados Unidos.
- Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia (<http://rangeland.tamu.edu/bolivia/>)
- Congalton, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of the classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment 37: 35-46.
- Congalton, R. G. & K. Green. 1999. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Pp. 11 – 70. Boca Raton: Lewis Publishers.
- Delcourt H.R., & P.A. Delcourt. 1988. Quaternary landscape ecology: relevant scales in space and time. Landscape Ecology 2: 23-44.
- Di Gregorio, A. & L. Jansen. 1995. FAO Land Cover Classification: a dichotomous, modular-hierarchical approach. FAO. Roma, Italia.
- Dinerstein E, D.M. Olson, D.J. Graham, A.L. Webster, S.A. Primm, M.P. Bookbinder, & G. Ledec. 1995. A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean. Washington (DC): World Bank.
- Eastman, J.R. 1997. Idrisis for Windows. User's guide. Program manual, Clark laboratories for Cartographic technology and geographic analysis. Worcester, MA, Estados Unidos.
- Eiten, G. 1978. Delimitation of the cerrado concept. Vegetation 36(3): 169-178.

- Eskuche, U. 1986. Bericht Über die 17. Internationale Pflanzengeographische Exkursion durch Nordargentinien (1983). Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 91: 12-117
- Eskuche, U. 1992. Sinopsis cenosistemática preliminar de los pajonales mesófilos seminaturales del nordeste de la Argentina, incluyendo pajonales pampeanos y puntanos.. *Phytocoenologia* 21 (3):237-312.
- ESRI, 2008. Workstation ARCGIS-ARC/INFO. Environmental Systems Research Inc., Redlands CA, Estados Unidos.
- Eulert, C. & D. Rumiz. (Eds). (2001). Análisis de los Aspectos Geofísicos y Biológicos a nivel Paisajístico y Organísmico del Bosque Chiquitano. Informe presentado a la FCBC. MHNNKM. Santa Cruz, Bolivia. No publicado.
- Eulert, C. & D. Rumiz. (Eds). (2003). Diagnostico complementario de la biodiversidad en las Serranías de Sunsas y revisión de su zonificación para uso forestal y de conservación. Informe presentado a la FCBC. MHNNKM. Santa Cruz, Bolivia. No publicado.
- FAO. 2000. Land cover classification system: Classification concepts and user manual. Rome, Italia.
- Forman, T.R. 1995. Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press. UK.
- Frohn, 1997. Environmental Systems Research Institute (ESRI). 2000. ArcView GIS. Versión 8. Environmental Systems Research Institute, Redlands CA. Estados Unidos.
- Hueck, K. & Siebert. 1988. Mapa de la Vegetación de América del Sur. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). GMBH. Eschorn 16 p 1 Mapa 1:8,000,000
- Josse, C., G. Navarro, P. Comer, R. Evans, D. Faber-Langendoen, M. Fellows, G. Kittel, S. Menard, M. Pyne, M. Reid, K. Schulz, K. Snow & J. Teague. 2003. Ecological Systems of Latin America and the Caribbean: A Working Classification of Terrestrial Systems. NatureServe, Arlington, VA. Estados Unidos.
- Killeen. T. J., S. G. Beck & E. Garcia E. 1993. Guía de Árboles de Bolivia, Herbario Nacional de Bolivia and Missouri Botanical Garden. La Paz, Bolivia.
- Killeen, T.J. & T.S. Schulemberg (eds). 1998. A biological assessment of Parque Nacional Noel Kempff Mercado, Bolivia. Rapid Working Paper 10, Conservation International, Washington DC, Estados Unidos.
- Killeen, T.J., T. Siles, L. Soria & L. Correa. 2005. Estratificación de vegetación y cambio de uso de suelo en los Yungas y Alto Beni de La Paz. *Ecología en Bolivia* 40(3): 32-69.

- Kux, H. J. H. & G.M. Henebry. 1997. Analysis of Flooding Dynamics in the Pantanal, Using Time Series of ERS-1 SAR Imagery. The Use and Applications of ERS in Latin America, Proceedings of an International seminar held in Vina del Mar, Chile, 25-29 November 1996. Edited by T.-D. Guyenne. ESA SP-405. Paris: European Space Agency, 159-167 pp.
- Ibisch, P.L., S.G. Beck, B. Gerkmann & S. Carretero. 2003a. La Diversidad biológica. Ecoregiones y ecosistemas. Pp. 47–88. en: Ibisch, P. & G. Mérida. (eds). Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Estado de Conocimiento y Conservación. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Editorial FAN. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Ibisch, P. & G. Merida. 2003. Biodiversidad la riqueza de Bolivia, Editorial FAN. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Leica Geosystems Geospatial Imaging. 2008. Erdas Imagine Tour Guides. Peachtree Corners Circle, Suite 100, Norcross, GA, 30092, Estados Unidos.
- Leopold, L.B. 1968. Hydrology for Urban Land Planning, U.S. Geological Survey Circular 554. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, Estados Unidos.
- Leopold, L.B., M.G. Wolman & J.P. Miller. 1964. Fluvial Processes in Geomorphology. San Francisco. California, Estados Unidos.
- Lillesand, T.M. & R.W. Kiefer. 1994. Remote sensing and Image Interpretation. (3rd Edition). John Wiley & Sons, Inc. New York, Estados Unidos.
- Long, L.L. & J.C. Ralph. 2001. Dynamics of habitat use by shorebirds in estuarine and agricultural habitats in Northwestern California. *Wilson Bulletin* 113(1): 41-52.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. Earth observing system data gateway. Disponible en: <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>. Acceso: 20 mayo del 2009a.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. Monthly TRMM and other data sources rainfall estimate. Disponible en: [http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/TRMM\\_V6.3B43](http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/TRMM_V6.3B43). Acceso: 20 de mayo del 2009b.
- NASA. Landsat Data Collection (NLDC). Disponible en: <http://eros.usgs.gov/products/satellite/nldc.php>. Acceso: 10 de marzo del 2009.
- NatureServe. 2003. International Ecological Classification Standard: Terrestrial Ecological Systems of Latin America and the Caribbean. Natural Heritage Central Databases. NatureServe, Arlington, VA, Estados Unidos.
- Navarro, G. & M. Maldonado. 2002. Geografía Ecológica de Bolivia, Editorial Centro de Ecología Simón I. Patiño. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Navarro, G. & W. Ferreira. 2004. Zonas de vegetación potencial de Bolivia: Una base para el análisis de vacíos de conservación. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 15: 1 – 40.

- Navarro, G. & W. Ferreira. 2007. Leyenda explicativa de las unidades del mapa de vegetación de Bolivia a escala 1:250 000. Rumbol S.R.L. Cochabamba, Bolivia.
- Niemuth, N.D., E.E. Michael, E.R. Reynolds, CH.R. Loesch & W.A. Meeks. 2006. Use of wetlands by spring-migrant shorebirds in agricultural landscapes of north Dakota's drift prairie. *Wetlands* 26 (1):30–39.
- Olson, D. M. & E. Dinerstein. 1998. The Global 200: a representation approach to conserving the Earth's most biologically valuable ecoregions. *Conservation Biology* 12(3): 502-515.
- Olson, D.M., E.Dinerstein, E.D. Wikramanayake, N.D. Burgess, G.V.N. Powell, E.C. Underwood, J.A. D'amico, I.I. Itoua, H.E. Estrand, J.C. Morrison, C.J. Loucks, T.F. Allnutt, T.H. Ricketts, Y. Kura, J.F. Lamoreux, W.W. Wettengel, P. Hedao & K.R. Kassem. 2001. Terrestrial Ecoregions of the World: A new map of life on Earth. *BioScience* 51(11): 933-938
- Parker, T.A.III, A.H. Gentry, R.B. Foster, L.H. Emmons, & J.V. Remsen. 1993. The lowland dry forests of Santa Cruz, Bolivia: A global conservation priority. RAP Working Papers No.4. Conservation International, Washington DC, Estados Unidos.
- Pinto-Ledezma J.N., D. Villarroel & A. Jahn. 2008. Landscape analysis at the southern Amazon. Report to migratory birds project. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Pinto-Ledezma J.N. 2009. Identificación de áreas de protección especial para la protección de aves migrantes en la reserva Mar Chiquita. Tesis de Maestría en Ciencias: Ecología y Manejo de Vida Silvestre. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Sala, O.E., F.S. Chapin III, J.J. Armesto, E. Berlow, & J. Bloomfield. 2000. Review: Biodiversity. *Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100*. *Science*, 87:1770-1774.

# ANEXOS MAPAS TEMÁTICOS