

*CAPITULO V - ANALISIS DE LOS CAMBIOS NATURALES EN LAS PAMPAS DEL
HEATH, LOS INCENDIOS E INUNDACIONES Y SU EFECTO SOBRE ECOTONOS
DEL BOSQUE A LA SABANA (LA PAZ, BOLIVIA)*

Miki Calzadilla ¹, Timothy Killeen ², Steve Panfil ³ & Lisete Correa ⁴

¹. Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Departamento de Geografía e Informática, Casilla 2489, Santa Cruz, Bolivia, mcalzadilla@museonoelkempff.org.

². Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Departamento de Geografía e Informática, Casilla 2489, Santa Cruz, Bolivia, t.killeen@conservation.org.

³. spanfil@amazonconservation.org.

⁴. Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Departamento de Geografía e Informática, Casilla 2489, Santa Cruz, Bolivia, lc Correa@museonoelkempff.org.

Resumen:

Este capítulo trata sobre diferentes análisis a los cambios ocurridos en las Pampas del Heath (Parque Nacional Madidi), intentando descubrir mediante estudios multitemporales cómo los incendios e inundaciones pueden tener un efecto sobre los ecotonos sabana – bosque, además de un análisis multitemporal de cambios ocurridos en estos ecotonos desde los años 1975 a 2001, utilizando en estas imágenes Landsat MSS, TM y ETM de los años 1975, 1986, 1991, 1996, 1999, 2000 y 2001 para obtener así los cambios de cobertura 1975 vs. 2001 y 1986 vs. 2001. Para el Sensoramiento Remoto de las imágenes se procedió primero a la corrección geométrica (georeferenciación), luego se realizó una clasificación no supervisada y posteriormente se culminó con una clasificación supervisada de las mismas.

Abstract

This chapter is on different analyses from the changes in “Pampas del Heath” (Madidi Nacional Park), trying to discover by means of multitemporary studies how the fires and floods can have an effect on the isotones savanna - forest, in addition to a multitemporary analysis of changes that happened in these isotones from years 1975 to 2001, using in these images Landsat MSS, TM and ETM of years 1975, 1986, 1991, 1996, 1999, 2000 and 2001 to obtain therefore the changes of cover 1975 vs. 2001 and 1986 vs. 2001. For the Remote Sensing of the images first came the geometric correction, soon a classification not supervised was made and later it was culminated with a classification supervised by the same ones.

Key words: Madidi, ecotono, mapa de vegetación, incendios, inundación

Introducción

Los Llanos de Moxos han sido poblados por diferentes tribus indígenas desde tiempos históricos. En el siglo XVII y XVIII las tribus que en aquel entonces se encontraban en estos lugares fueron reunidas por los jesuitas en reducciones, dentro del estado teocrático, en gran parte independiente. Hacia el año 1682, esta orden católica introdujo por primera vez ganado vacuno europeo, desarrolló la agricultura y fomentó en especial a la industria algodonera y textil. Luego en el año 1767, este estado misionero fue disuelto por la corona Española y los jesuitas fueron expulsados del país; en eso años existían aproximadamente 55.000 cabezas de ganado vacuno en quince misiones (Denevan 1980).

Las Pampas del Heath, que forman parte de este complejo de sabanas, se extienden por las tierras bajas del norte de la Provincia Iturrealde en La Paz, alcanzando el extremo sur de la Provincia Madre de Dios del Departamento de Pando (Navarro & Maldonado 2002). El uso del suelo en la

parte Norte y Este de las Pampas del Heath tiene fundamentalmente aptitud ganadera, siendo estas áreas sometidas a quemas anuales, reduciendo de esta manera todo tipo de sucesión arbustiva o arbórea y sustituidos de forma parcial o total por las pampas herbáceas seriales, que constituyen sabanas herbáceas de altura media o baja, desarrolladas en suelos bien drenados. Las partes Oeste y Sur de las pampas han sufrido muy poca presión antrópica y por ello su grado de conservación es mayor, acogiendo una alta diversidad florística y faunística en condiciones naturales (Hanagarth 1993).

La zona constituye una de las más desconocidas desde el punto de vista biológico, a excepción del trabajo fitosociológico de Haase (1989 y 1990), que si bien no representa a la formación a plenitud, describe de manera general las características de las formaciones. La dinámica vegetacional, sus características, tendencias y cambios han impulsado el desarrollo de más y nuevas técnicas de detección remota, para así tratar de entenderlas, conocerlas, analizarlas y encontrar mecanismos que ayuden a la conservación o manejo adecuado de sus recursos presentes (Kandus 1997).

Sabanas neotropicales

Según esta definición amplia, los ecosistemas de pradera presentes en todos los continentes comprenden pastizales no leñosos, sabanas, tierras leñosas, zonas de arbustos y tundras. Entre los más extensos en América tenemos al cerrado brasileño y los llanos y pampas de otras partes de Sudamérica, así como las praderas de América del Norte (Cardoso & Bates 2002). En América del Sur existen tres tipos diferentes de sabanas: los cerrados, el chaco y los llanos, los cerrados son formaciones que se extienden en Brasil y cubren casi 2.000.000 de km² (Navarro & Maldonado 2002). Presentan una amplia variedad de ecosistemas: sabanas abiertas, que son zonas de pastos, sabanas arboladas, donde hay árboles y arbustos, campos cerrados, que son las

típicas sabanas leñosas y el cerrado, donde la cobertura arbórea ocupa el 50% del terreno. El chaco abarca casi 1.000.000 de km² en territorios de Bolivia, Paraguay y Argentina. Es una zona donde las sabanas presentan árboles de porte bajo y arbustos leñosos con espinas. Las condiciones climáticas se vuelven progresivamente más secas al oeste de los ríos Paraguay y Paraná.

Uno de los complejos de llanos más extensos en Sudamérica son los de Venezuela, que van desde el extremo occidental del estado Apure hasta el extremo oriental del estado Monagas (Guevara & Meave 1990). Esta extensión corresponde prácticamente a una tercera parte del territorio del país que limita al norte con los Andes, la cordillera central y oriental y al sur con la frontera colombiana y con el Orinoco.

Bolivia cuenta con muchas formaciones de sabanas, entre ellas las sabanas del Parque Nacional Noel Kempff Mercado, localizada entre la interfase de los bosques amazónicos húmedos y los bosques secos (Birk 1995), uno de los complejos de sabanas más extensos denominados históricamente como Llanos de Moxos, formadas principalmente por extensos pastizales, entremezclados con bosques esparcidos en formas de islas y con humedales y vegetación arbustiva; donde también se extienden bosques de galería y quebradas cubiertas de bosques.

El centro de las sabanas está ubicado en los ríos Beni y Mamoré. Las partes orientales colindan en el Noroeste con las tierras altas del Brasil y en el Suroeste con las tierras altas de Chiquitos; ambas pertenecen a los Llanos de Moxos. Las sabanas orientales son denominadas sabanas de Magdalena y las del Oeste del río Beni, en la provincia Iturrealde del departamento de La Paz se encuentran las sabanas hasta hoy casi despobladas por el hombre, que llegan hasta el borde de los Andes denominadas Pampas del Heath, las cuales se extienden hasta el departamento peruano de Madre de Dios (Hanagarth 1993). Al igual que los bosques, las praderas han perdido la mayor

parte de su extensión original, debido a las actividades humanas y especialmente por su cambio de uso a la agricultura.

Incendios en sabanas

Los incendios ocurren de forma natural en la mayoría de los ecosistemas de pradera y configuran una de las principales herramientas utilizadas por los humanos para gestionarlas (Eiten, 1972) El fuego impide la invasión de matorrales, remueve la vegetación seca y recicla nutrientes. Sin estos incendios aumentaría la densidad arbórea en las praderas y se convertirían eventualmente en bosques. Se cree que los incendios naturales típicamente causados por relámpagos se presentan en las áreas húmedas entre una vez al año y cada tres años (Frost 1993), mientras que en las áreas secas se presentan entre cada año y cada 20 años. Sin embargo, hoy en día el número de incendios naturales es insignificante comparado con el de los incendios causados por los humanos (Levine et al. 1996). En las áreas de sabana, la gente ha causado incendios durante 1.5-2 millones de años y continúan valiéndose del fuego como medio de manejo efectivo y de bajo costo. Actualmente se queman al año cerca de 500 millones de hectáreas de sabanas tropicales y subtropicales, tierras leñosas y bosques abiertos (Levine et al. 1996).

Los incendios cumplen un papel vital para determinar el carácter y la extensión de las praderas: eliminan la vegetación seca, previenen la invasión de matorrales y reciclan nutrientes. Sin ellos la mayor parte de las praderas del mundo al final se convertiría en tierras boscosas (Eiten, 1972). Aunque las quemaduras pueden ser benéficas para estos ecosistemas, si se aumenta demasiado su frecuencia pueden eliminar la cubierta vegetal e incrementar la erosión del suelo. Además, las quemaduras constituyen una fuente significativa de contaminantes atmosféricos y emisiones de

carbono. Es así como los incendios en las sabanas originan una proporción elevada del carbono que se libera hacia la atmósfera como resultado de la quema de biomasa (Levine et al. 1996).

Sabanas inundadas

Las inundaciones son un evento natural y recurrente, resultantes 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 (Hanagarth 1993). 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 presenta características deficientes de drenaje. En las Pampas del Heath al igual que en el centro del norte del Beni solo se conoce inundaciones extensas y profundas en las áreas de influencia de los ríos mayores y a lo largo de ríos y arroyos más pequeños, pero no de las pampas extensas. Acumulaciones de agua se evidencian allí solamente en concavidades de relativamente poca extensión, donde generalmente el agua de lluvia se queda como agua estancada en los sartejenales que forman grandes partes de las pampas (Hanagarth 1993)".

Fuente de datos RASTER

Hay una gran cantidad de datos disponibles para uso en el SIG actualmente, adicionalmente hay imágenes aéreas y satelitales, las fuentes de datos raster incluyen rayos X, sonar, imágenes microscópicas, datos de video, todas ellas digitales y muchas otras fuentes, entre ellas tenemos:

- Imágenes MSS

El barrido MSS de los Landsat 4 y 5 cubren un área de aproximadamente 185x170 km las escenas están tomadas a una altura aproximada de 900 km de altura para los Landsat 1, 2 y 3 y a unos 705 km para los Landsat 4 y 5. Una escena típica contiene aproximadamente 2.340 filas y

3.240 columnas. La resolución radiométrica es de seis bits pero es almacenada como de ocho bits (Lillesand & Kiefer 1987). Los detectores registran radiación electromagnética (EMR) en cuatro bandas.

Las imágenes MSS son usadas principalmente para estudios geológicos y para inventarios de vegetación. La resolución espacial de los datos MSS es de 56×79 metros, con un IFOV de 79×79 metros (Leica Geosystems 2002).

- Imágenes TM

El TM es un sensor mecánicamente parecido al MSS con la diferencia de que cada oscilación del espejo desarrolla 16 líneas de barrido y una cadena de 24 a 100 detectores. Cada imagen de satélite Landsat TM consta de 7 bandas o canales espectrales 1,2 y 3 (rojo, verde y azul), infrarrojo 4,5 y 7 (cercano, medio y lejano) y una termal banda 6. Estas siete bandas tienen una capacidad de resolución de 30×30 m de terreno, salvo la banda 6 cuya resolución es 120 m (Chuvienco 1990).

- Imágenes Landsat 7 (ETM)

Las capacidades nuevas de Landsat 7 incluyen las siguientes:

- Una banda pancromática con 15 metros de resolución espacial
- Una calibración radiométrica del 5% con apertura completa
- Un canal de infrarrojo térmico IR con resolución espacial de 60 metros

La estación receptora principal de datos de Landsat 7 está localizada en Sioux Falls, Dakota del Sur, en el Centro de Datos EROS del Servicio Geológico de los Estados Unidos—USGS—(EDC). Los datos de ETM+ son transmitidos usando la banda X a una de 150 Mbps. Landsat 7 es capaz de capturar escenas sin obstrucción de nubes y las estaciones receptoras pueden obtener estos datos en tiempo real usando la banda X. Sin embargo, las estaciones, localizadas alrededor del planeta, son únicamente capaces de recibir datos para la porción de la trayectoria terrestre

ETM+, en la cual el satélite puede ser visto por la estación receptora. Además cubre un ancho de 185 km. La resolución temporal es de 16 días o 233 órbitas. El satélite gira alrededor de la Tierra a una altitud de 705 km. (Leica Geosystems 2002).

La realización de estos estudios se *justifica* debido a la importancia que presentan los ecotonos dentro del equilibrio ecosistémico y su alta importancia ecológica, al albergar especies únicas y/o endémicas propias del lugar (Hanagarth 1993). Por lo que es necesario desarrollar metodologías simples para la identificación de áreas en proceso de cambio, en las cuales se podrían realizar posteriormente estudios biológicos que permitan proponer diseños ecológicos, tales como zonas de amortiguación o corredores biológicos, con el fin de entender la dinámica y así poder elaborar estrategias o planes de conservación. El proceso por el cual las sabanas están sufriendo cambios a lo largo del tiempo no podrá ser entendido a menos que se realicen estudios sobre la magnitud del cambio y los factores que interactúan en él, esto como punto inicial de una planificación integrada para la conservación de los recursos naturales y diversidad biológica que en ellas alberga, ya que estos ecosistemas por su grado de complejidad son muy frágiles y propensos a ser alterados por procesos antrópicos, como ser la quema, el pastoreo, entre otros (Zerda 1999). Por otro lado y analizando la dinámica del cambio de cobertura de las Pampas del Heath se lograría:

- Constituir una forma de evaluación a una de las zonas que ha recibido atención por albergar gran diversidad florística y faunística, confirmando su importancia de ser conservadas, ante posibles amenazas de ser alteradas o intervenidas por la mano del hombre.

- Económicamente puede constituirse en un polo turístico por presentar estructuras escénicas de valor paisajístico.

Planteamos que a través de un análisis multitemporal y estacional podría determinarse el cambio de cobertura por sucesión vegetal, identificando algunos factores (incendios e inundaciones) que

podrían intervenir. A través de este estudio pretendemos analizar la influencia de la dinámica de incendios y estacionalidad de las inundaciones en los procesos de sucesión vegetal que producen a su vez cambios de cobertura vegetal.

Los objetivos específicos son:

- 1) Documentar la diversidad paisajística a través de la elaboración del mapa de vegetación para la zona de estudio.
- 2) Analizar multitemporalmente al paisaje para determinar los cambios de cobertura de la zona de estudio entre los años 1975 y 2001.
- 3) Identificar de cicatrices de incendios para la zona de estudio a nivel multitemporal
- 4) Evaluar los patrones de inundación en las pampas a nivel estacional y multitemporal (Leica Geosystems 2002).

Ubicación del área de estudio

El área se encuentra ubicada en la región Noroeste del departamento de La Paz en las provincias Franz Tamayo e Iturrealde. Tiene una ubicación fronteriza con el Perú y es colindante con la zona Reservada Tambopata-Candamo y Santuario Pampas del Heath del vecino país. Colinda hacia el sur con la Reserva Nacional de Ulla Ulla y en su región Este con la Reserva Pílon Lajas. La zona específica de estudio se encuentra entre los ríos Heath y Asunta, este primero es el límite natural entre los países de Bolivia y Perú, quedando pequeñas áreas de pampas en el lado peruano. En la imagen satelital (Figura 1) puede apreciarse en tono más claro las sabanas y tonalidad más oscura el bosque.

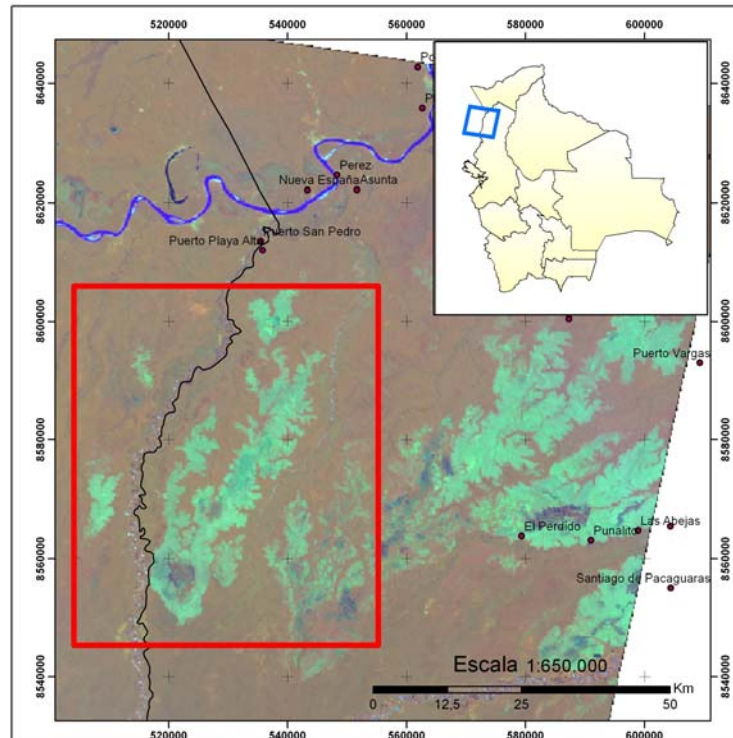


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio en Bolivia.

Metodología

La metodología utilizada para analizar los diferentes cambios en las Pampas Heath evaluó los cambios en la cobertura en la sabana por diferentes factores, como cambios de cobertura vegetal, dinámica de incendios y patrones de inundación. Para cada alcance, los procedimientos aplicados fueron específicos y concretos por lo que son descritos a continuación.

Cambios de cobertura en las sabanas

Para la obtener los cambios de cobertura entre los años 1975, 1986 y 2001, en primera instancia se clasificaron imágenes de satélite Landsat de los años 1975, 1986, 1991, 1996, 1999, 2000 y 2001, pero al corroborarse que los cambios en las sabanas se dan lentamente y la escala del área de estudio es bastante amplia para poder notar estos, solo se compararon los cambios entre las imágenes Landsat MSS del año 75, la TM del año 1986 y la ETM del 2001.

Para esto, se siguió la siguiente metodología tradicional, dividiendo los métodos de clasificación en dos grupos: supervisado y no supervisado, de acuerdo a la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento. El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías. Por su parte, el método no supervisado procede a una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen (Chuvieco 2002).

Análisis de cambios

- Imagen 1975 – 1986 vs. 2001

El análisis de cambios de cobertura se hizo a través de una clasificación cruzada que consiste en la comparación píxel a píxel que originará un nuevo archivo con diversas combinaciones que indican el tipo de cambio ocurrido. Este método permite no sólo determinar las situaciones de cambio y no cambio, sino también los tipos de cambios que han ocurrido en un determinado período, lo que lo convierte en muy adecuado para modelar situaciones de dinámica de cambios de la vegetación y usos de la tierra.

Cicatrices de incendios en sabanas

Para evaluar las cicatrices o indicios dejadas por el fuego en las Pampas del Heath, ya sean estos autoincendios o provenientes de prácticas antrópicas, fueron utilizadas imágenes de satélite Landsat con 30 m de resolución y de seis diferentes años. Cinco de las cuales fueron previamente georeferenciadas en base a una imagen ortorectificada del año 2001, las mismas que se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Imágenes utilizadas en análisis de cicatrices de incendio.

Imagen LANDSAT 002/69	FECHA
TM	25 de octubre de 1986
TM	27 de julio de 1991
TM	17 de agosto de 1996
ETM	2 de agosto de 1999
ETM	30 de abril de 2000
ETM (Orthorectificada)	23 de agosto de 2001

Fuente: MHNNKM, Dpto. Geografía e informática.

La identificación de la cicatrices se la realizó en el software ERDAS IMAGINE Professional, utilizado ampliamente en el análisis de imágenes satelitales. La misma se la realizó de forma visual, donde no se utilizó ningún tipo de clasificación automática o no supervisada. Las combinaciones de bandas utilizadas para tal efecto fueron 4-5-3 y 6-5-4, la primera utilizada ampliamente en la identificación de biomasa vegetal y la delineación de cuerpos de agua; luego la banda 6, o sector del infrarrojo emisor o termal, utilizado en el análisis del stress, discriminación de contenidos de humedad en el suelo y mapeo termal. Luego se procedió a la digitalización manual de polígonos para calcular las superficies de estas cicatrices, que fueron sobrepuestas en la imagen de satélite correspondiente a cada año. La digitalización de los límites de cicatrices y los mapas fueron creados en el software ArcGis, obteniendo un mapa de identificación de cicatrices de incendios para cada año, de los cuales solamente cuatro años los presentaron.

Estacionalidad y patrones de inundación de las sabanas

Para analizar el comportamiento y patrones de inundación estacional de las Pampas del Heath fueron utilizadas imágenes de satélite Landsat con 30 m de resolución de seis diferentes años, cinco de los cuales fueron previamente georeferenciados en base a la imagen ortorectificada del año 2001. Cuatro imágenes corresponden a época seca y dos a época lluviosa, y así de inundación de las pampas (tabla 2).

Tabla 2. Imágenes Utilizadas en análisis de inundación.

Imagen LANDSAT 002/69	FECHA
TM	25 de octubre de 1986
TM	27 de julio de 1991
TM	17 de agosto de 1996
ETM	2 de agosto de 1999
ETM	30 de abril de 2000
ETM (Ortorectificada)	23 de agosto de 2001

Fuente: MHNNKM, Dpto. Geografía e informática.

Luego se procedió a la clasificación de las imágenes, utilizando primero el método de clasificación no supervisada en el software ERDAS IMAGINE Professional, siendo la combinación de bandas utilizadas para tal efecto la 4-5-3 y obteniendo una preclasificación de 125 clases en 10 interacciones. Posteriormente, se complementó el proceso realizando una clasificación supervisada utilizando la misma herramienta informática, datos de campo proporcionados por los investigadores del Proyecto de Inventario Florístico y Faunístico de las Pampas del Heath, registros de base de datos de Dpto. de Geografía e Informática de Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado y la experiencia en el trabajo de campo.

Una vez concluida la clasificación de las seis imágenes, se separaron las clases identificadas como sabana inundada y se las convirtió de formato raster a formato Vectorial (Shapefiles), obteniendo así los límites poligonales de las áreas de interés.

Resultados

Mapa de cobertura vegetal

Utilizando las metodologías de clasificación vegetacional con imágenes de satélites antes descritas, pudieron identificarse 12 coberturas vegetales (Tabla 3, Anexo 1; mapa de vegetación).

Tabla 3. Coberturas vegetales y sus superficies.

Cobertura	Superficie de estudio (ha)	Cobertura (%)
Agua (ríos, quebradas y otros)	75.838.857	2,00
Bosque inundable	321.146.783	8,45
Bosque amazónico de tierra firme	2.779.448.653	73,19
Sin vegetación (o escasa)	35.045.311	0,92
Pampas remontadas	31.256.606	0,82
Sabanas inundadas	59.247.609	1,56
Sabanas o pampas abiertas	420.796.873	11,08
Cicatrices de incendio	19.241.239	0,50
Playas y arenales naturales	5.252.045	0,14
Área antrópica	20.300.899	0,54
Tacuarales	7.193.914	0,19
Palmares	22.689.339	0,60
TOTAL	3.797.458.128	100,00

Sabanas o pampas abiertas

Están dentro de esta formación las sabanas o pampas abiertas del Heath, las mismas están conformadas por pastizales de borde de bosque, terrazas con partes altas, depresiones, llanuras abiertas y llanuras con palmares. Las áreas de sabana abierta varían de casi totalmente cubiertas por pastizales a cubiertas por manchas discontinuas de árboles y arbustos resistentes al fuego; por esto se supone que la causa principal de la manutención de estas áreas es el fuego. Las especies más representativas de estos pastizales son: *Mesosetum cayennense*, *Arsitida torta*, *Arundinella* sp.; *Rhynchospora emaciata*, *Bulbostylis capillosa* y *Xyris lacerata*. Según la composición, las especies de hierbas con mayor cobertura en numerosas islas y zona de transición son de *Selaginella exaltata*, *Anana paraguayense* y *Philodendron brevispatum*.

Sabanas inundadas

Denominadas también pampa inundada, estas pueden ser anegadas durante todo el año o inundadas temporalmente solo en época de lluvias. Estas pueden presentar también matorrales poblados por nidos de termitas (termiteros). Según la composición, las especies de hierbas con mayor cobertura en numerosas islas son de *Selaginella exaltata*, *Anana paraguayense* y

Philodendron brevispatum, luego las especies arbustivas más representativas son *Macaira radula*, *Graffenrieda weddelli*, *Miconia lanceolata*, *Alibertia edulis* y *Palicourea croceoides* entre otras.

Pampa Remontada

Este tipo de formación está conformado por matorrales de borde de bosque, bosques de borde de pampa y también por islas de bosque fragmentados. También son llamadas pampas arboladas, son formadas aparentemente por sucesión natural en la ausencia de incendios pero el incremento de invasión de arbustos y árboles no es conocido. Las diferencias entre imágenes satelitales recientes y antiguas son pequeñas, esto sugiere que el cambio de cobertura existe pero lentamente.

La sabana arbolada o pampa-monte tienen una composición florística similar principalmente del estrato herbáceo, la diferencia surge cuando este pastizal se arboriza, aparecen estratos de árboles por lo general juveniles de las especies: *Vismia floribunda*, *Tapirira guianensis*, *Hirtella* sp (juvenil) y *Graffenrieda limbata* (Melast). Generalmente, la cobertura de los árboles bajos está bien representada en la zona de transición. Los árboles emergentes no sólo se encuentran en los bosques sino también en las islas de bosque. En muchas de estas islas, el emergente es *Mauritia flexuosa* (Palm) sin formar necesariamente un palmar.

Palmares

Estas por sus características peculiares y densa cobertura de palmas fue separada de la clase de sabanas inundadas, pero presenta similares características a las sabanas inundadas durante todo el año. La especie dominante de esta formación es *Mauritia flexuosa*.

Bosque amazónico de tierra firme

Área formada por suelos arenosos y arcillosos. Bosques perennifolios, característicamente con alta diversidad florística, castañales (*Bertholletia excelsa*) y otras especies importantes como *Pseudolmedia laevigata*, *Pseudolmedia laevis*, *Salacia elliptica*, *Virola sp.*

Bosque amazónico de plano inundable

Esta formación esta compuesta por lagunas de meandros, quebradas secas o con agua estancadas, sartejenales ubicados paralelamente a lo largo de los ríos Madre de Dios, Heath y Asunta.

Miconia aulocalyx, *Mouriri ipiranga*, *Bellucia sp.*, *Lorena strigosa*, *Miconia bubalina*, *Geonoma deversa*, *Oenocarpus bataua*, *Piper obliquum*, *Piper sp.*, *P. obliquum var. puberulidrupum*

Tacuarales

No se tiene muchas referencias sobre este tipo de formación para la zona, pero en formaciones similares en el Perú estos están mezclados con una variedad de palmeras y especies de bosque secundario y algunas lianas.

Cicatrices de incendio

Son aquellas áreas de pampas o pampas remontadas donde se identificaron alteraciones en la cobertura causadas por el fuego, ya sean estos naturales o causados por el hombre.

Área antrópica

Estas son áreas que presentan algún tipo de disturbio causado por el hombre, donde se ha cambiado el tipo de uso de suelo, como ser asentamientos humanos, cultivos, pastizales, entre otros.

Sin Vegetación o Escasa

Están dentro de esta categoría todas aquellas áreas que se mostraron como áreas sin cubierta vegetal, pero que se desconoce su origen; en algunos casos pueden tratarse de antiguos causes de ríos (meandros), arenales, bosques quemados, etc.

Playas, arenales naturales

En esta categorización se encuentran todas las playas y orillas de los ríos Madre de Dios, Heath y Asunta.

Cambio de Cobertura (1975 Vs. 2001- 1986 vs. 2001)

Se elaboró un mapa de cambios (tabla 5) mediante la suma de las imágenes de los años 1975 y 2001, y 1986 vs. 2001, obteniendo así las áreas donde se tuvieron cambios en la cobertura boscosa relacionados a la sucesión vegetal.

Tabla 5. Matriz de cambios.

De bosque a bosque	NO
De bosque a sabana	SI
De bosque a sabana arbolada	SI
De sabana a bosque	SI
De sabana a sabana	NO
De sabana a sabana arbolada	SI
De sabana arbolada a bosque	SI
De sabana arbolada a sabana	SI
De sabana arbolada a sabana arbolada	NO

Para poder interpretar mejor los resultados de cambios, fueron separados en dos grupos: En el primer grupo - denominado sucesión sabana (S) - sabana arbolada (SA) - bosque (B) están los tres cambios considerados de mayor secuencia y/o magnitud (tabla 6), en los que la vegetación tomó mayor tendencia, en particular en el límite con el bosque. Además son áreas sin mucha inundación ni quemadas, teniendo así mejor éxito la sucesión arbustiva y arbórea.

Tabla 6. Superficie y porcentaje de cambios de la sucesión S–S–B (1975 vs. 2001).

Cambios	Superficie (ha) 1975-2001	Porcentaje de cambio
De sabana a bosque	6625.73	15.14
De sabana a sabana arbolada	15883.1	36.29
De sabana arbolada a bosque	21251.4	48.56
Totales:	43760.23	100

Luego, en el segundo grupo se colocaron los cambios que corresponden a la sucesión denominada Bosque–sabana arbolada–sabana (tabla 7), donde se observaron menores cambios de cobertura en comparación con el anterior grupo.

Tabla 7. Superficie y porcentaje de cambios de la sucesión B–SA–S (1975 vs. 2001).

Cambios	Superficie (ha) 1975-2001	Porcentaje de cambio
De bosque a sabana	2787.75	26.95
De bosque a sabana arbolada	5531.43	53.48
De sabana arbolada a sabana	2024.12	19.57
Totales:	10343.3	100

Analizando ambos grupos de sucesión, se obtuvo el cambio final en número de hectáreas totales, donde la sucesión con mayor cambio es la de S–SA–B (Figura 1). Esto hace suponer que las áreas de sabanas tienden a ser ocupadas por este tipo de sucesión vegetal, pese a que también existe la sucesión inversa.

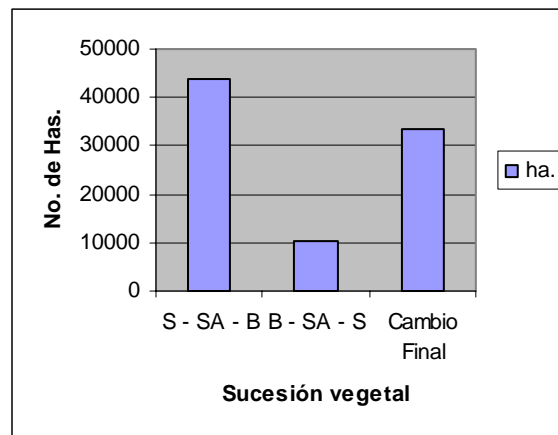


Figura 2. Cambios sucesionales por clase y cambio final (1975–2001).

La comparación de coberturas (cambio) está hecha con una imagen MSS (1975) y otra ETM (2001) tanto por razones espectrales, como por factores de resolución existe un cierto margen de error estimado. Por esto, se realizó una comparación de coberturas entre los años 1986 y 2001 para verificar la tendencia mostrada en la anterior comparación; llegando a mantenerse ese mismo patrón (tablas 8 y 9).

Tabla 8. Superficie y porcentaje de cambios de la sucesión S-SA-B (1986 vs. 2001).

Cambios	Superficie(ha) 1986-2001	Porcentaje de cambio
De sabana a bosque	1818.24	7.85
De sabana a sabana arbolada	7894.3	34.07
De sabana arbolada a bosque	13458.4	58.08
Totales:	23170.94	100

Tabla 9. Superficie y porcentaje de cambios de la sucesión B-SA-S (1986 vs. 2001).

Cambios	Superficie (ha) 1986-2001	Porcentaje de cambio
De bosque a sabana	803.66	7.62
De bosque a sabana arbolada	5078.63	48.18
De sabana arbolada a sabana	4658.13	44.19
Totales:	10540.42	100

El cambio de cobertura comparando los años 1986 y 2001 tiene la misma tendencia de avance del bosque hacia la sabana (figura 3), lo cual corrobora la hipótesis inicial para el área de estudio, aunque ocurre cierta dinámica de ambas sucesiones vegetales, la primera es la que muestra dominancia sobre la sucesión inversa.

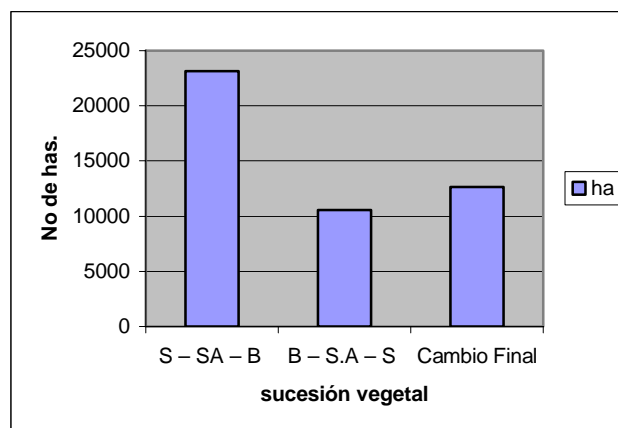


Figura 3. Cambios sucesionales por clase y cambio final (1986 vs. 2001).

Posteriormente se elaboró un mapa (figura 4) donde se muestra la tendencia sucesional del análisis de cambio 1975 vs. 2001, que debido al tamaño, escala del área de estudio, y el lento proceso de cambio, no pueden identificarse nítidamente.

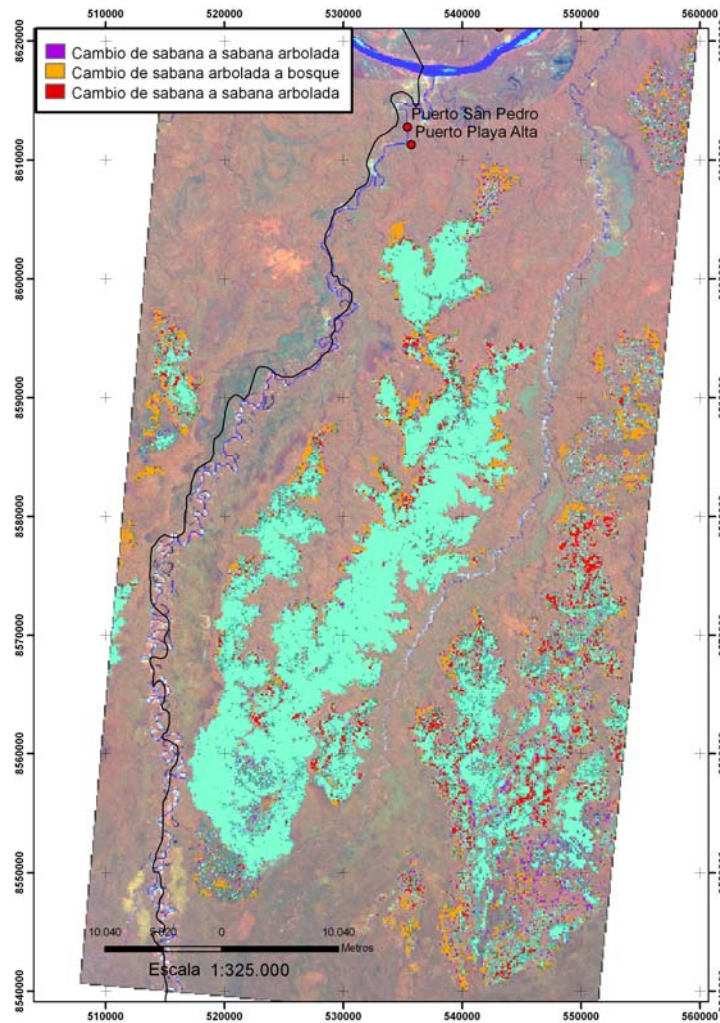


Figura 4. Mapa de cambios 1975 vs. 2001

Dinámica del fuego

Se logró obtener una cobertura de cicatrices de incendio para cada año, en dos de los cuales no se identificó ninguna cicatriz. Para los demás se elaboró un mapa con los cuatro años, analizando así el comportamiento de los incendios en la sabana a lo largo de ese periodo (figura 5). Analizando los resultados obtenidos del análisis espacial de las diferentes épocas (tabla 7, figura 6), vemos

que los años con mayor área de cicatrices de incendios son los años 1986 y 1996, con 259.58 y 337.97 ha, respectivamente; y el año con menor superficie quemada fue el año 2000, con aproximadamente 90 ha. Las cicatrices identificadas en las sabanas en los distintos años pertenecen, en algunos casos, a la época seca de cada año y otras a épocas de lluvias, las cuales podrían corresponder a incendios del año anterior.

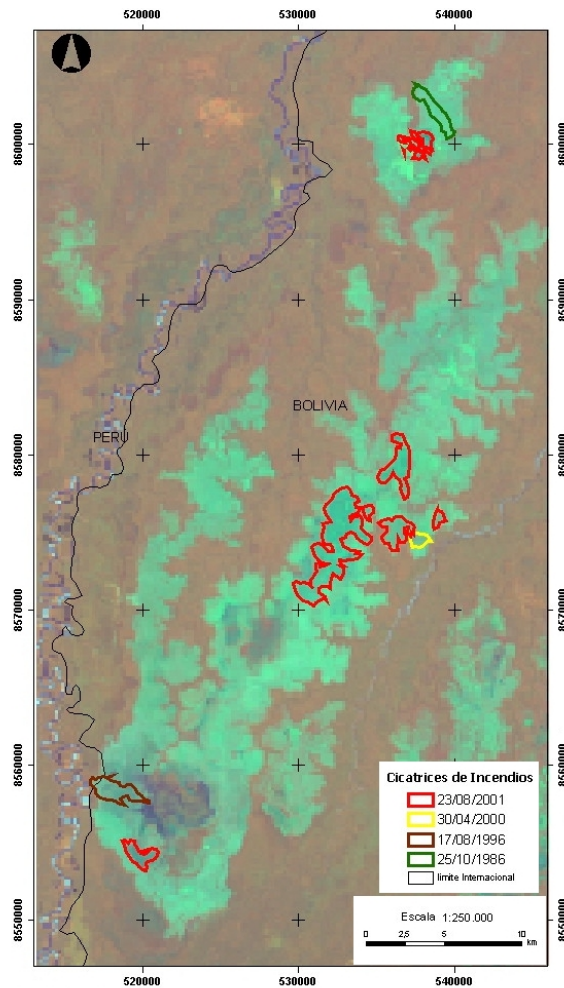


Figura 5. Mapa de cicatrices de incendios por año (1986-2001).

Extrayendo un promedio de hectáreas quemadas por año, tenemos el 1.80% de pampa quemada (tabla 7). Este porcentaje nos sugiere tal vez recomendar en estudios futuros el aumento de

muestras, es decir, analizar imágenes de mayor número de años, para así tener mejores reportes estadísticos y entender mejor el comportamiento de los incendios en las sabanas.

Tabla 7. Resultados de análisis de cicatrices de incendio. Área promedio total de sabana inflamable: 44.003 ha.

Fecha	Época	Área Total SIG de cicatrices (ha)	Número de polígonos de cicatrices	Área promedio SIG (ha)	Porcentaje de sabana quemada (%)
25/10/1986	Lluvias	259,58	1	259,58	0.59
17/08/1996	Seca	337,97	1	337,97	0.77
30/04/2000	Lluvias	89,90	1	89,90	0.20
23/08/2001	Seca	2477,19	14	176,94	5.63
					Promedio: 1.80

Interpretando estos datos, podemos decir que los incendios en las Pampas del Heath están relacionados a autoincendios por causas naturales en su mayoría y a visitas realizadas por gente de poblaciones aledañas o del lado peruano; ya que éstas no muestran un patrón definido y puede estar regido más bien a eventos, tanto naturales como provocados.

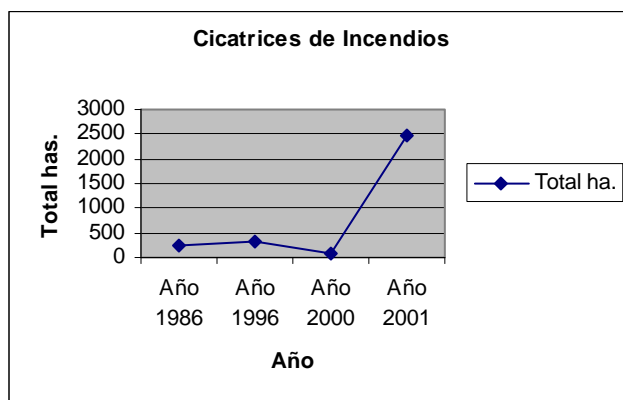


Figura 6. Áreas totales de cicatrices por año.

Vale destacar que las imágenes al ser de diferentes épocas del año y por lo tanto con diferencias estacionales marcadas, las interpretaciones de algunas áreas pueden ser susceptibles a confusión con zonas inundables. Las más susceptibles por la época en que fueron tomadas serían la de los años 1986 y 2000.

Dinámica de inundación

Los resultados obtenidos en cuanto a dinámica de inundación fueron los límites poligonales de las áreas de interés (sabanas inundadas), las cuales se detallan en la figura 7.

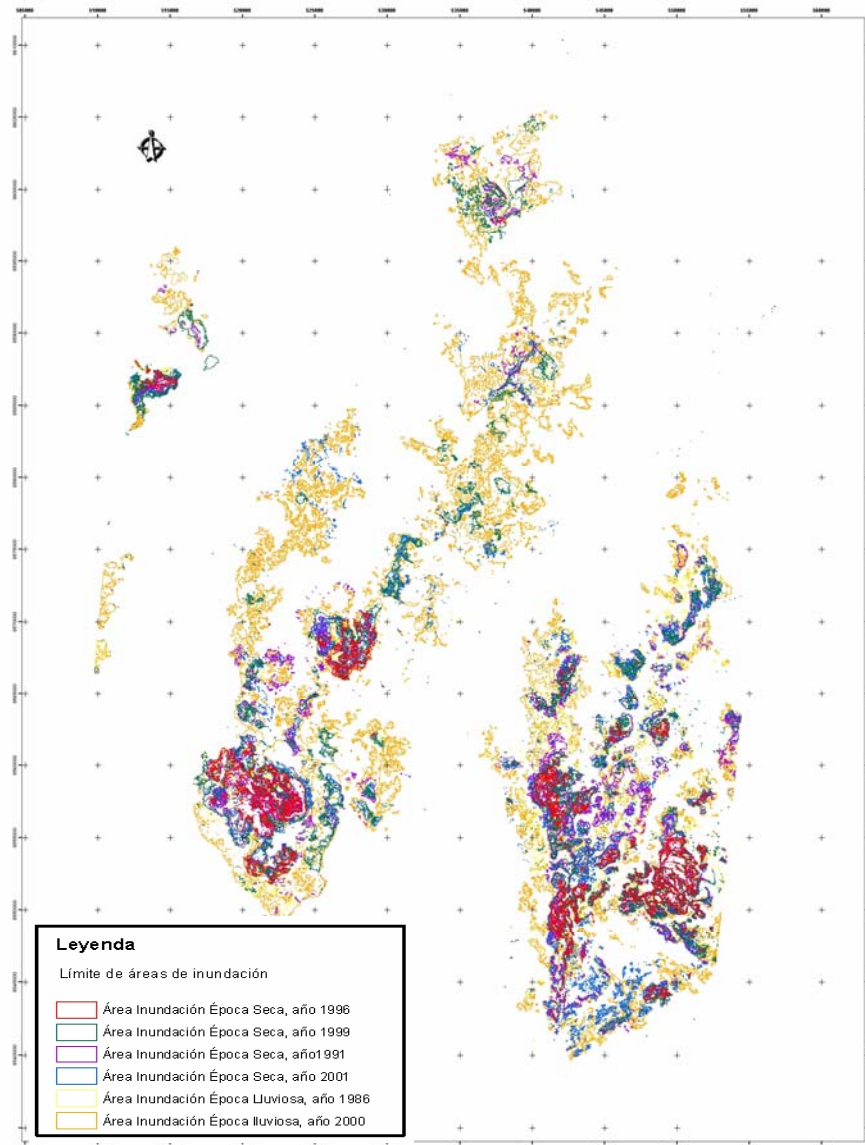


Figura 7. Mapa de áreas inundadas por años

Analizando los resultados obtenidos del análisis espacial de las diferentes épocas, vemos que los años con mayor área de inundación son 1986 y 2000, con 15326 y 43729 ha inundadas, respectivamente (tabla 8). Esto corrobora a los patrones de inundación en épocas de mayor

precipitación registradas para la zona y el año con menor superficie inundada fue el año 1996 con 4340 ha, correspondiente a uno de los meses con menor precipitación para la zona.

Tabla 8. Áreas inundadas y porcentaje de áreas inundadas. Área promedio total de sabana inundable: 88.071 ha.

Fecha	Época	Área total SIG de inundación (ha)	Número de polígonos de inundación	Área promedio SIG (ha)	Porcentaje de pampa inundada
17/08/1996	Seca	4340	1189	3,46	4.98
27/07/1991	Seca	8979	1071	9,74	10.47
02/08/1999	Seca	10482	1568	7,14	11.78
23/08/2001	Seca	11069	4594	0.58	13.4
25/10/1986	Lluvias	15327	802	18.91	16.79
30/04/2000	Lluvias	43729	2453	15,08	47.09

La forma, disposición y distribución de inundación en las diferentes fechas presentan una coincidencia o concentración en áreas de inundación permanente durante todo el año y áreas donde solamente se tienen inundaciones temporales en épocas de mayor precipitación fluvial (figuras 7 y 8).

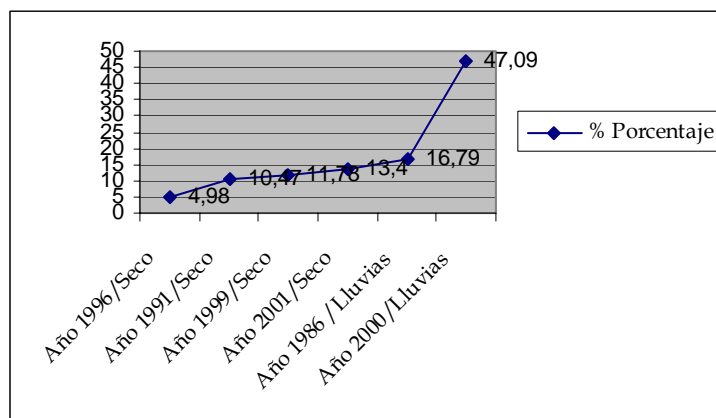


Figura 8. Porcentaje de inundación en diferentes épocas y años.

Para poder corroborar si los años en que las pampas sufrieron mayor inundación fueron años muy lluviosos, regulares o poco lluviosos, a continuación se muestran datos de precipitación de las estaciones metereológicas de Cobija, Riberalta y Puerto Maldonado (Perú) que son las más

cercanas a la zona de estudio de los años 1995 a 2001 (figura 9, no pudo conseguirse datos para los años 1986 y 1991).

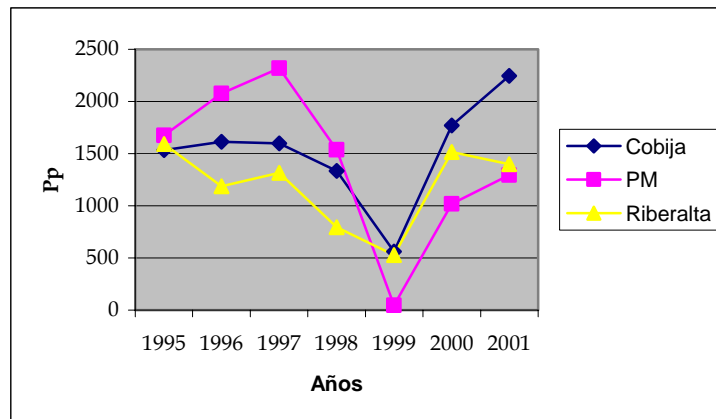


Figura 9. Promedios de precipitación por año para las estaciones de Cobija, Riberalta y Puerto Maldonado-Perú.

Comparando con el índice de precipitación de los mismos años de nuestro análisis de inundación, vemos que el año anterior y el propio año a la imagen de época seca del 1996 fueron años regulares en cuanto a precipitaciones (SENAMHI, 2006) por lo cual el rango de inundación para esa fecha (agosto) es regular y se presenta como el año con menor área inundada del estudio. El año 1999 fue históricamente uno de los años con menor precipitación, pero debido a que el año 1998 fue un año regular en cuanto a precipitaciones, suponemos que el nivel de inundación se mantuvo regularmente hasta el mes que corresponde la imagen de ese año (agosto).

La imagen del año 2000 está tomada a finales de la época de lluvias, cuando las áreas inundables se encuentran en su máximo nivel de inundación y no tienen relación con lluvias del año anterior, puesto que fue el año con menor precipitación (SENAMHI, 2006). Ya para la imagen del año 2001 (época seca), vemos que las pampas mantuvieron un nivel considerable de inundación, debido que el año 2000 las precipitaciones tuvieron un nivel relativamente alto. Suponemos entonces que para el 86, las precipitaciones tuvieron un nivel alto desde el inicio de la época lluviosa, puesto que para el mes de octubre, siendo el inicio de las lluvias, ya presenta un buen nivel inundación o que al menos las lluvias el 1985 fueron altas y se mantuvo un nivel sostenido

de precipitación hasta entonces. Ya para el año 91, estimamos un nivel regular, tanto por la época como por el nivel de inundación presentado.

Discusión

El mapa de vegetación elaborado mediante interpretación satelital con imágenes Landsat está sujeto a presentar una clasificación vegetacional un tanto macro, debido a la resolución de la imagen (30 x 30 m), por lo que no pueden identificarse formaciones menores como pueden apreciarse en campo, por ejemplo islas de bosque, bosques ribereños, bosques de galería y otros. Los cambios de cobertura identificados entre los años 1975 (MSS) y 2001 (ETM) muestran una tendencia sucesional clara que va de S – SA – B (sabana – sabana arbolada – bosque), con 43 760.23 ha de cambio y que pese a ocurrir también una sucesión inversa (B–SA–S) con 10 343.3 ha, presentando una diferencia entre ambas de 33 416.93, que sería la tendencia dominante de cambio. Hay que tener en cuenta también que estas imágenes (1975 y 2001) están conformadas por fuentes de información y resolución espectral un tanto distintas y, por lo tanto, pueden estar sujetas a un cierto margen de error. Pese a ello, los resultados son aceptables ya que la tendencia dominante es bastante marcada y fue corroborada mediante el análisis de cambios entre la imagen de satélite Landsat TM del año 1986 y la imagen del año 2001 (ETM), mostrando una tendencia sucesional clara que va de S–SA–B con 23 170.94 ha de cambio y que pese a ocurrir también una sucesión inversa (B–SA–S) con 10 540.42 ha y que los cambios ocurren lentamente, se presenta una diferencia de 12630.52 entre ambas. Esta tendencia de cambio puede ser atribuida a diversos factores o fenómenos, como son los incendios y las inundaciones en las sabanas y bosques, ya que éstos al parecer determinan la dominancia o tendencia sucesional de las formaciones boscosas, como se discute a continuación:

El **fuego**, ya sea generado por autoincendios o quemadas realizadas por el hombre, tienden a reducir de las sabanas a especies de hierbas, arbustos y árboles pioneros, ya que las especies de pasturas

presentan mayor capacidad de rebrote, manteniendo así la sabana. Cualquiera que sea su procedencia, natural o inducido (antropogénico), el fuego ha sido uno de los determinantes de las características sobresalientes en el desarrollo de los ecosistemas presentes en las pampas durante muchos años. Las acciones de manejo, que se tomen en el futuro para la zona deben reconocer el papel protagónico que desempeña el fuego. Las quemadas controladas deben ser tomadas en consideración como práctica para la investigación, para saber cuando y donde es apropiado, aunque por el momento no se tenga muy en claro cuál es el régimen o patrón apropiado.

Las **inundaciones** periódicas y permanentes en las sabanas también cumplen un rol ecológico importante, ya que éstas son un factor que influye en la selección natural. Estas pampas sufren inundaciones estacionales en diversos grados de anegamiento, algunas zonas solo se inundan temporalmente y otras permanecen inundadas todo el año. Estas sabanas generalmente no cuentan con una formación arbórea bien desarrollada, debido a que las especies de árboles y arbustos no pueden soportar el patrón de inundación que sufren las pampas. En épocas lluviosas las sabanas se convierten en pantanos y durante la estación seca, los suelos pierden humedad, provocando un déficit hídrico en las plantas, en que sobreviven las especies que presentan mejor adaptación a estas condiciones, como son gramíneas, palmeras y algunos arbustos y árboles, estos dos últimos asociados a termiteros o nidos de hormigas.

Entonces, podríamos suponer que esta tendencia de avance del bosque hacia las pampas puede deberse a cambios climáticos globales, como ser alargamiento de la época seca o a su vez lluvias esporádicas en estas fases, que favorecerían al establecimiento de especies pioneras y/o colonizadoras. Por otro lado, la disminución de la precipitación en la zona, lo cual repercute en los patrones, rangos y niveles de inundación torna propicio el establecimiento de un estrato arbustivo y arbóreo, en áreas que usualmente estaban inundadas en épocas anteriores.

El uso de la tecnología de sensoramiento remoto hace que este tipo de herramienta y de metodologías sean no solo factibles, si no también eficientes en términos de costos operacionales y de logística al momento de emprender un proyecto de investigación de estas características. Las Pampas del Heath prestan todas las condiciones de laboratorio natural, para el estudio sobre los impactos que está causando el cambio climático sobre el ecotono sabana–bosque en la Amazonía sudamericana. Por esto, sugerimos continuar el estudio apoyado en herramientas que puedan proporcionarnos datos con mayor resolución, para así poder puntualizar algunos detalles. Para esto puede utilizarse la metodología de videografía, la cual logra captar fotografías secuenciales mediante un sobrevuelo aéreo de un área determinada, llegando a obtener una imágenes de mejor calidad y resolución, información que puede identificar a mejor detalle ciertas formaciones o corroborar otras. Además de identificar ciertos factores nos ayuden a conocer su dinámica y así poder planificar acciones que nos permitan su conservación.

Bibliografía

- Alvarez E., M. 1999. Humedales de Costa Rica, ASCOLFI, Informa 25(6):57-59.
- Beck, S.G.1984. Comunidades vegetales de las sabanas inundadizas en el noreste de Bolivia. *Phytocoenologia* 12: 321-350.
- Birk, G. 1995. Plantas útiles en bosques y pampas chiquitanas: Un estudio etnobotánico con perspectiva de género. APCOB, Santa Cruz, 354 pp.
- Cardoso, J.M. & J.M. Bates. 2002. Biogeographic patterns and conservation in the South American cerrado: a tropical savanna hotspot. *Bio Science* 52(3): 32-38.
- CDC-Paraguay & Trópico-Bolivia. 2003. Ecoregión Chaco boliviano-paraguayo, Proyecto “Áreas prioritarias para la conservación en cinco ecorregiones de América Latina”, Informe técnico final Fase Uno, Asunción.
- Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones Rialp S.A., Madrid.
- Denevan, W.M. 1980. La geografía cultural aborígen de los Llanos de Moxos. Edit. Juventud, La Paz. 159 pp.
- Eiten, G. 1972. Cerrado vegetation of Brazil. *Revista Bot. Rev.* No. 38. 1972.
- Frost, P.G.H. 1993. Spatial and temporal patterns in the occurrence of fires in northwest Zimbabwe, 1968-1989. Cartel presentado en la Primera Conferencia de TREES, Belgirate, 19-21 de octubre de 1993. 309 pp.
- Guevara, S. & J. Meave 1990. ¿Contribuyen los árboles en pie al mantenimiento de la diversidad de especies tropicales en los pastizales tropicales? En: Camarillo R., J.L. y F. Rivera A. (comps.). *Áreas naturales protegidas en México y especies en peligro de extinción*, pp. 146-154. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Haase, R. 1989. Plant communities of a savanna in northern Bolivia I. Seasonally flooded grassland, and gallery forest. *Phytocoenologia* 18(1): 55-81.

- Haase, R. 1990. Plant communities of a savanna in northern Bolivia II. Palm swamps, dry grassland, and shrubland. *Phytocoenologia* 18: 343-370.
- Haase, R. & S.G. Beck. 1989. Structure and composition of savanna vegetation in northern Bolivia: a preliminary report. *Brittonia* 41: 80-100.
- Hanagarth, W. 1993. Acerca de la geocología de las sabanas del Beni en el nordeste de Bolivia. Instituto de Ecología, La Paz.
- Kandus, P. 1997. Análisis de patrones de vegetación a escala regional en el Bajo Delta Bonaerense del Río Paraná (Argentina). Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires.
- Killeen, T. J., E. García E. & S. G. Beck (eds.). 1993. Guía de árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia - Missouri Botanical Garden, Edit. Quipus SRL., La Paz.
- Killeen, T. J. & T.S. Schulenberg. 1998. A biological assessment of Parque Nacional Noel Kempff Mercado, Bolivia. Conservation International Rapid Assessment Papers Working Papers 10.
- Levine, J.S. 1996. FireSat and global monitoring of biomass burning. *Biomass, Burning and Global Change Volume I*, The MIT Press, Cambridge.
- Leica Geosystems. 2002. Field guide ERDAS IMAGE.
- Madero, A. 2000. Humedales de México. www.altavista/humedales.com
- Montambault, J.R. (ed). 2002. Informe de las evaluaciones biológicas Pampas del Heath, Perú Alto Madidi, Bolivia y Pando, Bolivia. Rapid Assessment Program, Conservación Internacional. Washington, DC.
- Navarro, G. & M. Maldonado. 2002. Geografía ecológica de Bolivia: Vegetación y ambientes acuáticos. Fundación Simón Patiño, Cochabamba, Bolivia. 719 p.
- Roche, M.A. & N. Rocha. 1985. Mapa pluviométrico de Bolivia y regiones vecinas, 1:4.000.000, Publ. PHICAB, La Paz.

SENAMHI, 2006. www.senamhi.gov.bo

Troche, C. & E. Guarachi, 2002. Análisis del cambio de cobertura y fragmentación del hábitat en el municipio de Independencia, una propuesta metodológica simple para la identificación de áreas prioritarias de investigación biológica, Cochabamba, Bolivia.

www.wetlands.org/inventory&/SAA/Body/08beni-izozog@.htm

Zerda, H. 1999. La degradación en los bosques secos del chaco argentino. Informe técnico final, CEDIAC, Santiago del Estero.