

Análisis de la superficie afectada por fuego en el departamento de Pando el año 2005 a partir de la clasificación de imágenes del satélite CBERS

Ricard Cots Torrelles¹
Eva Cardona Pons¹
Irving Foster Brown²

¹ONG HERENCIA
Cobija, Pando- Bolivia
ricard.cots@gmail.com

²Woods Hole Research Center – Universidade Federal do Acre
Rio Branco, Acre-Brasil
fbrown@uol.com.br

Abstract. Fire is an increasing threat to the future of Amazon forests, and it may be considered one of the main environmental problems in the Department of Pando, Bolivia. In this paper, the extent of land damaged by fire during the year 2005 in Pando is quantified through the analysis of CBERS images. The results show that more than 241,500 ha were damaged by fire in this period, with 33,500 ha burned inside protected areas and 123,500 ha of forest burned that had not previously been exposed to fire. Fires seem to be associated with large-scale economic activities, such as the opening of cattle settlements, rather than with small-scale subsistence agricultural practices. Also, selective logging may be considered one of the main factors, which promotes the spread of fire in forested areas. These results are much higher than official data, which indicated that only 40,000 ha burned in the Department in 2005. Such underestimates about the true extent of the forest fire damage problem can lead to a lack of adequate control and prevention measures.

Palavras-chave: Remote sensing; forest fire, Bolivian Amazon, forest degradation, sensoriamento remoto, queimadas, Amazônia Boliviana, degradação da floresta, CBERS.

1. Introducción

El departamento de Pando, situado en el norte de Bolivia, es parte de la cuenca del Amazonas y cuenta con extensas masas forestales que cubren gran parte de su territorio. Constituye un área de alta diversidad biológica situada entre las 10 prioridades de conservación en el mundo.

Desde finales de los años 80, después de la caída del comercio de la goma, se genera en Pando un nuevo modelo económico y social basado en las exportaciones de castaña beneficiada y en un crecimiento de la explotación de madera y de la ganadería vacuna. Debido a este nuevo modelo de explotación, a la aceleración del crecimiento demográfico y al mejoramiento de las vías de comunicación en las últimas décadas, está aumentando considerablemente la presión sobre los recursos forestales. La ampliación del sector agropecuario y la extracción selectiva de especies madereras valiosas sin un control adecuado son factores determinantes en la creciente frecuencia y magnitud de los incendios forestales. Aparte de los daños generados por el fuego en los ecosistemas (cuya destrucción precede incluso al conocimiento científico de los mismos) y en la población, la erosión hídrica y el peligro de inundaciones y sequías estacionales son en Pando una amenaza creciente debido a la disminución de la superficie forestal.

En general, en los países tropicales las estimaciones cuantitativas sobre las áreas quemadas son esporádicas, incompletas o incluso inexistentes (Cochrane, 2003). Ante las múltiples repercusiones de las quemadas, se hace necesario contar con una información fidedigna sobre la extensión de las áreas degradadas, los patrones de comportamiento del fuego y su interrelación con los usos de la tierra y los ecosistemas, y sobre esta base

desarrollar mecanismos de gestión del territorio efectivos para controlar y prevenir los problemas derivados de la deforestación.

Este trabajo surge de la necesidad de abordar seriamente el problema de las quemas en Pando, ante la escasez de datos fiables sobre el alcance actual de las mismas sobre el territorio y una aparente falta de interés político en mostrar datos reales y aplicar mecanismos de control efectivos. El presente trabajo se ha realizado en el contexto de la iniciativa MAP^I, gracias a un convenio entre la ONG HERENCIA y la Universidad Federal del Acre (UFAC).

1.1 Antecedentes

Un estudio con imágenes de satélite LANDSAT estimó la superficie total deforestada en el departamento de Pando en 615 km² (61.500 ha) a mediados de los años 80, y estimó un incremento de la deforestación en la década subsiguiente de 743 km² (743.000 ha), sumando aproximadamente 1357 km² deforestados a mediados de los 90 (Steininger, et al. 2000), que correspondería al 2,1 % de la superficie total del departamento. Según ZONISIG (1997), la superficie de Pando deforestada para el año 1992 correspondía al 2,7 % de la superficie del departamento, y se estimó una tasa de deforestación de 4789 ha-año para el periodo 1985-90. Una publicación del Ministerio de Desarrollo Sostenible (2006) valora la zona afectada por incendios en Pando entre 1999 y 2002 en 32.142 ha.

En un informe de la Dirección de Medio Ambiente de la Prefectura de Pando^{II}, se estimó la superficie quemada en Pando el año 2005 en 40.000 ha, cuantificando 5.000 ha de bosque quemado en el interior de la Reserva de Vida Silvestre de Manuripi.

2. Objetivos del trabajo

El objetivo principal del presente trabajo es cuantificar la superficie afectada por el fuego en el Departamento de Pando durante el año 2005.

3. Metodología

El presente trabajo se basa en la interpretación de datos colectados por el satélite CBERS-CCD. Estos datos son de libre acceso para los usuarios de Brasil. Las imágenes utilizadas fueron obtenidas gratuitamente del “Catálogo de imágenes CBERS-2”, disponible en la web del INPE^{III}, en virtud del convenio marco entre la ONG HERENCIA y la UFAC^{IV}. Las imágenes fueron descargadas en el núcleo UFAC de Brasileia (Acre, Brasil).

3.1. Identificación de cicatrices de áreas quemadas

El fuego provoca una alteración inmediata en la superficie terrestre por la acumulación de cenizas y carbón, por la eliminación total o parcial de vegetación y por la alteración de la estructura y abundancia de vegetación (França, 2004). Esta alteración se detecta en la imagen satelital a través de un cambio en la respuesta espectral de la superficie terrestre, que se traduce en un cambio de color en la fotografía tomada por el satélite.

La modificación de la estructura y abundancia de la vegetación produce cambios más estables temporalmente pero menos marcados a nivel espectral, que aquellos producidos por

^I MAP (Madre de Dios-Acre-Pando): Iniciativa trinacional para el desarrollo sostenible en la región fronteriza entre Brasil, Perú y Bolivia (www.map-amazonia.org).

^{II} Ref. Presupuesto de emergencia para el Departamento de Pando. Proyecto de control de quemas y cambio climático, Dirección de Recursos Naturales y Medio Ambiente (Prefectura de Pando). Noviembre 2005.

^{III} Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (www.inpe.br)

^{IV} Universidad Federal del Acre

la acumulación de cenizas y carbón, que, a pesar de ser cambios de corta duración, son más apreciables en la respuesta espectral (**figura 1**).

Con el objetivo de aprovechar al máximo las marcas espectrales de las cicatrices del fuego se ha intentado utilizar imágenes inmediatamente posteriores a la época de quemas (julio- septiembre).

La principal dificultad del trabajo ha sido disponer de imágenes de calidad, puesto que a partir de octubre y a medida que las lluvias toman más frecuencia e intensidad la presencia de nubes dificulta mucho la visibilidad de la superficie terrestre. Para algunas zonas no existían imágenes disponibles libres de cobertura nubosa entre octubre de 2005 y febrero de 2006 (momento en el que se inició el presente trabajo). En estos casos se ha tenido que recurrir a imágenes de finales de septiembre en las que, a pesar de la presencia del humo procedente de los mismos fuegos, se pueden apreciar con relativa claridad las superficies afectadas.

Existe, pues, una subestimación de la superficie quemada puesto que algunas de las imágenes utilizadas fueron captadas en un momento en que los incendios seguían activos (pudiéndose apreciar las columnas de humo) o todavía no habían ocurrido.

3.2 Proceso metodológico

Metodológicamente, se ha trabajado en tres etapas. La primera etapa ha consistido en localizar los grandes focos de incendios. Para ello se ha trabajado con imágenes captadas por el sensor MODIS, instalado en los satélites TERRA y AQUA (<http://www.rapidfire.sci.gfcs.nasa.gov>). Las imágenes del sensor MODIS tienen una baja resolución espacial, que no permite cuantificar con precisión las superficies quemadas, pero una alta resolución temporal, que ha hecho posible descargar una imagen diaria entre el día 10 de agosto y 20 de septiembre, época de mayor incidencia de los incendios. En esta fase también se ha usado la información de focos de calor disponible en la web del INPE (www.inpe.br)

El objetivo de la segunda fase ha sido cuantificar las superficies quemadas. Para ello, se han usado las imágenes CBERS. Tomando en consideración los problemas espectrales que presentan las imágenes del satélite CBERS para realizar una clasificación automática, se ha optado por hacer una **clasificación por interpretación visual**. Para ello, teniendo en cuenta la respuesta de las zonas quemadas en las distintas bandas del satélite, se ha trabajado con una **composición en falso color RGB (342)**.

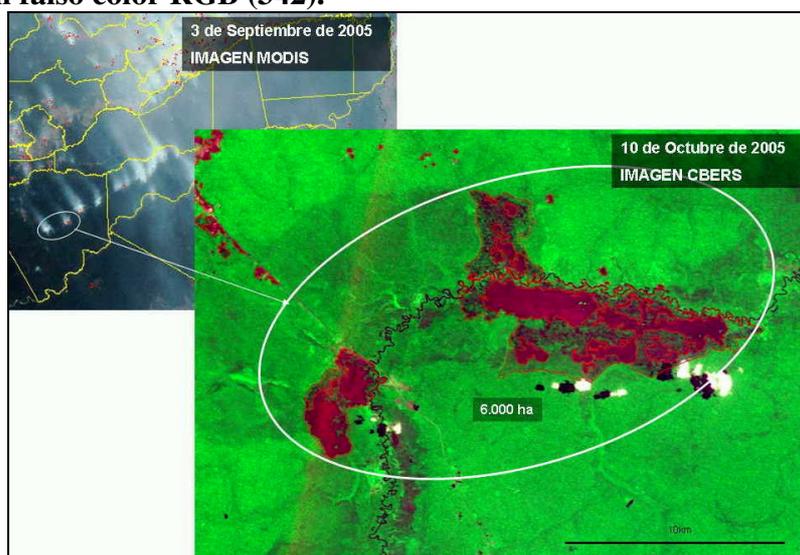


Figura 1. En la imagen Modis se puede apreciar las columnas de humo sobre el río Manuripi el día 3 de septiembre de 2005. Las imágenes CBERS nos permiten el análisis más detallado de cada zona quemada y la cuantificación de la superficie quemada. En la imagen se aprecia la tonalidad de la cicatriz que deja una quema.

El mapa de áreas afectadas por el fuego se ha superpuesto con las coberturas de ordenamiento territorial del Plan de Uso del Suelo (PLUS) de Pando (ZONISIG, 1996), coberturas de zonificación ambiental (NAVARRO, G. 2002), mapa de accesibilidad^V y divisiones administrativas del departamento.

Para el presente trabajo se ha utilizado ERDAS como procesador para las imágenes CBERS y ArcGIS para el tratamiento vectorial y el análisis espacial de la información.

3.3. Clasificación de las áreas afectadas por fuego

Las distintas áreas afectadas por el fuego han sido interpretadas visualmente y digitalizadas en pantalla. La unidad mínima cartografiada se ha establecido en 0.4 ha. Se han considerado las siguientes clases:

Área abierta afectada: Incluye quemas tanto en zonas previamente deforestadas como en zonas de vegetación natural en las que el fuego ha eliminando completamente la cobertura vegetal.

Área abierta posiblemente afectada: Zonas deforestadas en las que la presencia del fuego no es evidente pero sí probable. La falta de evidencia puede ser debida al tiempo transcurrido entre el incendio y la captura de la imagen.

Área boscosa con copa afectada: Zonas de vegetación natural en las que el incendio ha afectado los estratos superiores del bosque, sea por quema directa o por el aire caliente que al ascender ha secado las hojas de los árboles.

Área boscosa posiblemente afectada: Zonas de vegetación natural quemadas con un fuego de baja intensidad, afectando solamente a los estratos inferiores del bosque. La marca de la cicatriz del fuego de este tipo de zonas es muy sutil dando lugar a posibles errores de interpretación.

4. Resultados

4.1 Áreas afectadas por el fuego en 2005

En la **tabla 1** se muestran los resultados de la clasificación de las imágenes de satélite CBERS-CCD correspondiente a áreas afectadas por fuego en 2005.

Tabla 1. Superficies afectadas por quemas en el departamento de Pando durante el año 2005.

TIPOLOGIA	SUPERFICIE (ha)	Superficie media (ha)	Superficie Máxima (ha)	Desviación Estándar
Área abierta afectada	80675	48	8366	350
Área abierta posiblemente afectada	15209	94	1871	238
Área boscosa con copa afectada	123510	280	8819	865
Área boscosa posiblemente afectada	22120	159	8846	806
TOTAL SUPERFICIE AFECTADA	241.514			

La superficie total afectada por fuego durante la época de quemas del 2005 (entre julio y septiembre), es de **241.514 ha**, que suponen el **3.79 %** de la superficie total del departamento. Es interesante notar que las superficies quemadas medias son relativamente altas. Este dato indica que las quemas se vinculan a actividades económicas de gran escala (ganadería y extracción selectiva de madera), más que a la agricultura de subsistencia practicada por los campesinos de las comunidades indígenas y campesinas.

Área abierta afectada. Corresponde a una tercera parte de las áreas afectadas por el fuego (33,4%). En esta categoría se incluyen todas las zonas que posteriormente a la quema han quedado convertidas en pastizales. Sin embargo, en el marco de este trabajo no se ha podido diferenciar entre pastizales previamente existentes (que normalmente se vuelven a

^V Mapa elaborado por ZONISIG en 1996 en el marco de los trabajos de redacción del PLUS Pando.

quemar cada año) y pastizales de nueva creación, es decir, nuevas áreas deforestadas a consecuencia de las quemas.

Área abierta posiblemente afectada. Representa tan sólo el 6,3% de la superficie total afectada. Se trata de pastizales con indicios de haber sufrido quemas durante la temporada estudiada.

Área boscosa con copa afectada. Más de la mitad (51,1%) de las zonas afectadas corresponden a esta categoría, siendo además la categoría en que la superficie media afectada es mayor. Este dato es muy importante pues las áreas con copa afectada se corresponden principalmente con zonas de bosque natural que han sufrido incendios de intensidad considerable. Este tipo de incendios, muchas veces incontrolables y con graves consecuencias, tienen lugar en bosques que han sufrido alteraciones previas (como las alteraciones producidas por la extracción selectiva de madera), que han creado las condiciones favorables a incendios de esta magnitud. De ahí la necesidad de tener en cuenta los factores perturbadores del bosque pues en conjunción con un período de sequía, como el que se ha vivido en el año 2005, pueden promover grandes incendios.

Área boscosa posiblemente afectada. Representa el 9,2 % de las zonas afectadas. Se trata de bosques con indicios de haber sufrido algún tipo de incendio, probablemente de baja intensidad, por lo que se han conservado más o menos intactas las copas de los árboles. Las consecuencias de este tipo de fuego son más evidentes meses después de haber ocurrido el incendio, cuando los árboles muertos debido a las altas temperaturas se han secado y perdido sus hojas. Este tipo de incendios, si bien pueden pasar desapercibidos, son muy dañinos para la vegetación pues crean unas condiciones muy desfavorables de cara a futuros incendios. Los fuegos de baja intensidad son difíciles de detectar a partir de imágenes satelitales captadas poco después del incendio, por lo que probablemente esta cifra ha sido subestimada.

4.2. Distribución por provincias y municipios

La distribución de áreas afectadas por provincias (**Tabla 2**) muestra claramente que el fuego ha tenido más presencia en las provincias más pobladas. La provincia de Nicolás Suárez, que cuenta con la mayor parte de la población (39.577 habitantes ¹²), es con diferencia la más afectada, con un 13% de su territorio afectado por las quemas.

Tabla 2. Superficies afectadas por fuego en las provincias del departamento de Pando.

PROVINCIA	POBLACIÓN	AREA AFECTADA 2005 (ha)	% AFECTADA
ABUNA	2.488	6544	0,7
FEDERICO ROMAN	2.912	1414	0,1
MADRE DE DIOS	11.220	27693	2,3
MANURUPI	9.505	83665	4,3
NICOLÁS SUÁREZ	39.577	122198	13,3
TOTAL PANDO	66.689	241514	3,8

La distribución por municipios mantiene la misma tendencia. Cabe resaltar que los municipios de Cobija y Porvenir son los que han sufrido incendios en el mayor porcentaje de su territorio.

En términos absolutos el municipio en el que más superficie ha quemado ha sido Bella Flor con 68.329 ha (que suponen un 13 % de su territorio). La mayor parte de estas quemas se vinculan a la carretera Porvenir – Puerto Rico y a la frontera con el Brasil.

4.3. Distribución en función de la accesibilidad

En la **figura 2** se muestra la distribución de superficies quemadas según su grado de accesibilidad^{VI}, donde la accesibilidad se define como facilidad para desplazarse hasta un punto del territorio desde un núcleo principal, medida en horas de viaje.

En esta figura se manifiesta claramente la estrecha relación que existe entre el fuego y la presencia de infraestructuras de comunicación, que actúan como catalizadoras del proceso de degradación del entorno natural. Además de las carreteras y los ríos, la frontera con el Brasil se constituye como el tercer eje sobre el que se vincula el fuego en el departamento de Pando.

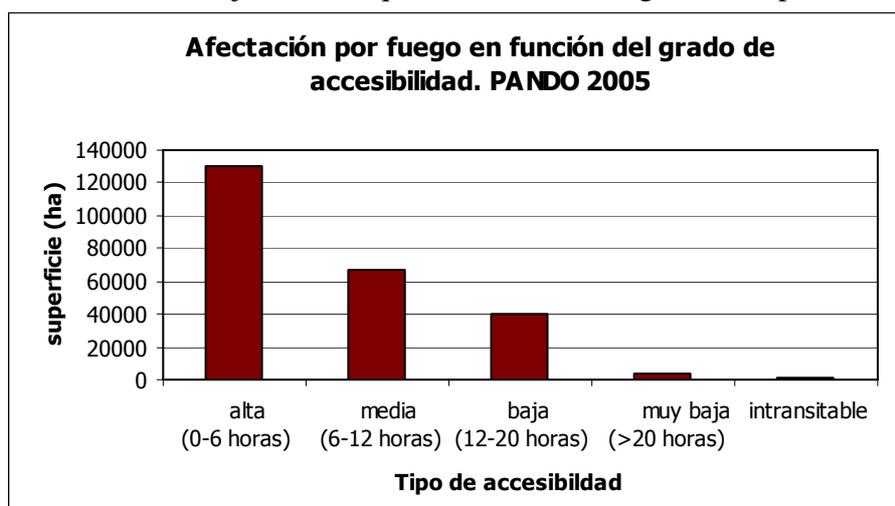


Figura 2. Superficies afectadas por el fuego en función de la accesibilidad.

4.4. Distribución según zonificación del PLUS PANDO^{VII}

En la **tabla 3** aparece la superficie afectada en cada categoría establecida en el PLUS. Destacan las 112.000 ha en la categoría de uso Agrosilvopastoril afectadas por fuego, lo que significa que las actividades económicas que tienen su ámbito de actuación sobre esta categoría de uso han perdido, en 2005, hasta el 12 % de su potencial de económico. Dentro este tipo de uso, la ganadería está permitida solamente como actividad de auto subsistencia, ligada al aprovechamiento silvícola del bosque.

Las más de 33000 ha afectadas por el fuego dentro de áreas naturales protegidas (un 3,8 % del total) se corresponden principalmente a los incendios registrados en la Reserva de Vida Silvestre Manuripi.

Tabla 3. Superficies afectadas según zonificación del PLUS Pando.

CATEGORIA DE USO	SUPERFICIE TOTAL	AREA AFECTADA	% AFECTADO
AREAS NATURALES PROTEGIDAS	890125	33551	3,8
TIERRAS DE USO AGROPECUARIO EXTENSIVO	15456	662	4,3
TIERRAS DE USO AGROSILVOPASTORIL	929559	112084	12,1
TIERRAS DE USO RESTRINGIDO, CON PROTECCIÓN	1232682	35230	2,9
TIERRAS DE USO FORESTAL	3246582	58443	1,8

4.5. Distribución por unidades ambientales

De la superposición las superficies quemadas con los diferentes grupos de vegetación descritos en el Mapa de Unidades Ambientales de Pando (Navarro 2002), se obtiene que la

^{VI} Según mapa elaborado por ZONISIG en 1996 en el marco de los trabajos de redacción del PLUS (Plan de Uso del Suelo del departamento de PANDO)

^{VII} PLUS. Plan de Uso del Suelo del departamento de PANDO.

mayor cantidad de superficie quemada ha afectado al grupo denominado vegetación de las penillanuras onduladas y colinas de pando, que corresponde a lo que comúnmente se llama “monte alto” o bosque primario, lo que supone la pérdida o degradación de 127.191 ha de bosque primario en tan sólo un año.

Por otro lado, han quemado más de 70.000 ha de comunidades correspondientes a vegetación de zonas inundables relacionadas con los cursos de aguas negras (como el río Manuripi). Este dato puede relacionarse con la marcada sequía que se va vivido en Pando en el año 2005, en la que han llegado los ríos a niveles especialmente bajos. Esto indica que algunas comunidades vegetales asociadas a los cursos de agua pueden ser especialmente sensibles al fuego en épocas de sequía.

En valores relativos, el mayor porcentaje de superficie quemada pertenece al grupo de vegetación antropogénica, que corresponde a vegetación que ya ha sido fuertemente alterada por la actividad humana y puede ser más vulnerable al fuego. Las zonas agrícolas y pastos, además, sufren quemadas reiteradas a lo largo de los años puesto que el fuego es utilizado como una herramienta de manejo.

5. Conclusiones

Sobre los resultados obtenidos:

Del presente estudio se desprende la cifra de 241.500 ha afectadas por incendios en el departamento de Pando en 2005, lo que supone un 3,8 % de la superficie total del departamento. Esta cifra probablemente sea una subestimación.

Las fuentes oficiales, tras la época de quemadas del 2005, notificaron 40.000 ha quemadas en todo el departamento. El presente trabajo demuestra que la superficie quemada es hasta 6 veces mayor que la cifra oficial estimada, lo cual indica que existe desconocimiento por parte de las autoridades del verdadero impacto de los incendios.

El área boscosa afectada por los incendios se ha cuantificado en 123.510 ha, lo cual implica la pérdida o degradación de una gran superficie del comúnmente llamado “monte alto”. Este hecho puede afectar notoriamente a la economía local basada en la extracción de productos del monte, como la castaña.

En áreas naturales protegidas han quemado 33.550 ha, la mayor parte dentro de la Reserva de Vida Silvestre de Manuripi, lo que supone una grave amenaza para la conservación de la biodiversidad de la región.

La correlación que existe entre la densidad de población e infraestructuras viales y la superficie quemada indica claramente que el fuego está estrechamente relacionado con la actividad humana. Las áreas quemadas en Pando se vinculan a tres elementos territoriales: las carreteras, los ríos y la frontera con el Brasil.

Al investigar las causas de este problema, no hay que olvidar aquellas actividades económicas que aumentan la probabilidad de que el bosque tropical queme (cuando en condiciones naturales sería un bosque prácticamente invulnerable al fuego). Está ampliamente documentado que **la extracción selectiva de madera favorece la propagación del fuego en el bosque**. La sequía constituye un factor agravante de esta situación.

Las quemadas se relacionan con actividades económicas de gran escala como la ganadería y la extracción selectiva de madera, más que con la agricultura de subsistencia.

Las figuras de ordenación definidas en el Plan de Uso del Suelo (PLUS) de Pando no tienen ninguna incidencia sobre la distribución de las áreas quemadas. Este hecho indica que el PLUS PANDO tiene un bajo grado de cumplimiento.

De mantenerse este ritmo de degradación del territorio, en pocas décadas los recursos naturales del departamento de Pando pueden llegar a un estado muy crítico, lo cual compromete la sostenibilidad de la economía, el desarrollo humano y el bienestar de la

población, y provoca pérdidas irreversibles en el medio ambiente y la biodiversidad de la región.

Sobre la metodología utilizada:

Las imágenes de satélite son una fuente de información muy válida e interesante a utilizar para el monitoreo y control de las quemadas en el departamento de Pando.

Realizar un monitoreo de las quemadas que ocurren en el departamento es necesario para conocer el abasto de la problemática. El seguimiento y análisis de la ocurrencia, magnitud y localización de los incendios son un paso previo para poder hacer predicciones y concretar y priorizar medidas de gestión.

Existen instituciones públicas entre cuyas competencias se encuentran el monitoreo y control de las quemadas que no desempeñan adecuadamente sus funciones por falta de recursos. Para estos casos se propone el uso de imágenes de satélite como herramientas de gran valor, que permiten realizar una fiscalización exhaustiva de los incendios ocurridos periódicamente, con rapidez y bajo coste.

El trabajo se ha realizado con un coste económico mínimo, gracias a la cooperación de varias instituciones en el marco de la iniciativa MAP. Se plantea la necesidad fortalecer las relaciones interinstitucionales para optimizar los recursos destinados al seguimiento de los incendios, intercambiar la información y elaborar estrategias comunes de prevención y control.

La metodología utilizada se propone como base para futuros trabajos. En este caso se ha coordinado con experiencias similares llevadas a cabo por la Universidad Federal del Acre. Es conveniente que futuros trabajos mantengan (y mejoren) la base metodológica para hacer comparables los resultados, pudiendo obtener datos reales sobre la evolución de las superficies afectadas por fuego.

Es muy importante socializar los resultados de los trabajos de monitoreo para dar a conocer los impactos de este problema al mayor número posible de población y entidades, y crear conciencia ambiental en los agentes implicados. También es necesario promover aquellas actividades económicas que impliquen un uso sostenible del territorio, pues son la clave de un desarrollo económico perdurable.

6. Referencias

Cochrane, M.A. Fire science for rainforests. **Nature**, n. 421, p. 913-919, 2003

Steininger, M.K. Tropical deforestation in the Bolivian Amazon. **Environmental Conservation**, n.28, p. 127-134, 2000

ZONISIG, **Zonificación agroecológica y socioeconómica y perfil ambiental del departamento de Pando**. La Paz, Bolivia, 1997.

Ministerio de desarrollo sostenible. Viceministerio de recursos naturales y medio ambiente. **Estrategia para la prevención de incendios forestales**. La Paz, Bolivia, 2006.

França, H. **Identificação e mapeamento de cicatrizes de queimadas com imagens AVHRR/NOAA**. Capítulo 3 del volumen: FERREIRA, N.C. (coord.) "Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N". Oficina de textos. Sao Paulo, 2004.

ZONISIG. **Plan de uso del suelo del departamento de Pando (PLUS PANDO)**. La Paz, Bolivia, 1996.

Navarro, G. 2002. **Unidades ambientales y prioridades de conservación del departamento de Pando**. No publicado.