

## **Monitoreo de Cicatrices de Quemadas en el Departamento de Pando – Bolivia mediante sistemas de información geográfica y teledetección**

**Hugo L. Fuentes Nay<sup>1</sup>**

**1 Herencia, Calle Cívica, 047 – Cobija – Pando, Bolivia**

**hfuentes@herencia.org.bo**

**Abstract.** Enabling agricultural land, the uncontrolled use of fire and generation of anthropogenic forest fires, causing economic and environmental losses, mapping burned areas can be a good tool to assess environmental impacts.

The present study shows the quantification of areas affected by fires and fires in the Department of Pando Amazon region of Bolivia. The airlines affected were located by monitoring with remote sensing satellite images. Landsat 8 satellite sensor OLI (Operational Land Imager) with a resolution of 30 m for the year 2013 The validation of this analysis was conducted using the normalized burn ratio (NBR) adapted to Landsat 8 images was used, allowing classify burn scars. To estimate the classification accuracy was validated with field sampling points and cross tabulation was made. The results were 88% correct, 9% error of omission and error 3% commission.

The total area affected by fires in 2013 was 33.885 hectares, representing 0,52% of the total area of the department of Pando. Historically the largest forest fires occurred in 2005 and 2010, covering 259.432 hectares surfaces and 108.093 hectares, respectively.

**Palabras clave:** Quemadas, Incendios forestales, Landsat 8, Teledetección, SIG

### **1. Introducción**

El fuego constituye una amenaza creciente en los bosques tropicales. En la Amazonía los incendios forestales han ido aumentando en magnitud y frecuencia en las últimas décadas, hecho asociado a los cambios en la demografía y en los usos de la tierra, alcanzando actualmente niveles preocupantes, especialmente en el llamado arco de deforestación. Este fenómeno, además de afectar a la salud de millones de personas, está causando desequilibrios ecológicos con implicaciones cada vez más evidentes sobre el cambio climático global y la pérdida de biodiversidad (Cardona E. *et al*, 2006). Según la FAO, la deforestación en la región amazónica en los últimos 40 años implica la pérdida del 15% de la superficie forestal total (PNUD, 2006). Las tasas de deforestación anual oscilan entre 11.000 y 29.000 km<sup>2</sup> (SOUZA, 2002).

En Bolivia los incendios forestales se han incrementado diez veces más en los últimos diez años (Sandoval, 2011). Las actividades de quema de pastizales y chaqueos de bosques se constituyen en un agente de cambio ambiental con impacto tanto local como global, destacando su impacto sobre la utilización del suelo, capacidad de carga, biodiversidad y la alteración de los procesos hidrológicos, biogeoquímicos, y atmosféricos (Roy et al., 2005 citado en Tonatto, 2008).

La época de mayor incidencia de fuego en Bolivia se presenta entre julio a septiembre (Martínez et al., 2003), el cual coincide con la época seca, que se caracteriza por la escasez de lluvia, baja humedad del aire, déficit hídrico y vientos fuertes; condiciones que aumentan el riesgo potencial de incendios y quemadas indeseadas (Brown IF. 2006).

Este trabajo surge del problema de las quemas en el Departamento de Pando y realizar un estudio mediante imágenes de satélite Landsat 8 como instrumento de monitoreo de las quemas producidas el año 2013 y mostrar los resultados para aplicar mecanismos de control en el manejo del fuego y la deforestación.

La Teledetección se ha convertido en una herramienta frecuente en el análisis de los incendios forestales y, en concreto, en la cartografía de áreas quemadas. La disponibilidad de las imágenes de diferentes resoluciones (temporal, espacial y espectral) la hace adecuada para este tipo de estudios (Gómez & Martin, 2006).

Dada su gran extensión, las técnicas basadas en el análisis de imágenes de satélite son la única alternativa viable en esta región para la estimación de zonas quemadas y/o deforestadas (Quintano & Shimabukuro, 2009).

En Pando el 2005, se utilizó imágenes del satélite CBERS-CCD, los resultados del área afectada por el fuego suponían una subestimación, sin embargo la superficie quemada de más de 200 mil ha, llegó a ser 6 veces mayor que la cifra oficial, lo cual indica que existe desconocimiento por parte de las autoridades del verdadero impacto de los incendios (Cots et al., 2006). La Dirección de Medio Ambiente de la Prefectura de Pando, el 2005 estimó la superficie quemada en 40 mil ha, y 5 mil ha de bosque primario quemado en la Reserva de Vida Silvestre de Manuripi.

## 2. Metodología

La detección, localización, delimitación y cuantificación de las áreas de quemas mediante imágenes satelitales Landsat 8 se las realizó en el Departamento de Pando ubicado en el norte amazónico de Bolivia (12°30' sur - 65°00' oeste). El Departamento de Pando tiene una extensión oficial de 63.827 km<sup>2</sup>.



Mapa 1. Ubicación del área de estudio

En el monitoreo de las cicatrices de quemas se utilizaron los siguientes datos:

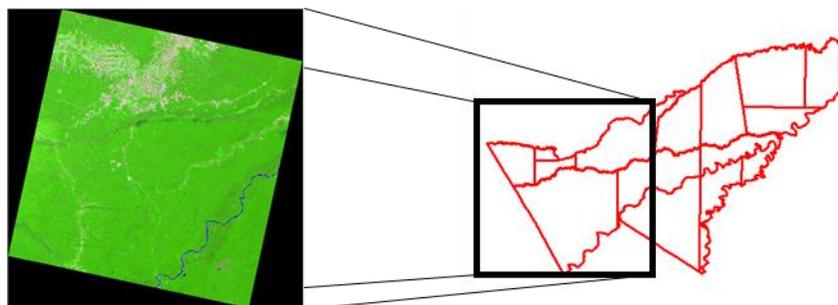
- Focos de calor del Centro de Previsiones del Tiempo y Estudios Climáticos–CPETEC/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Imágenes del satélite Landsat 8 para la región de Pando para la generación del mapa de cicatrices de quemas, que fueron descargadas de la página Web de la NASA. Cuadro1.

Año 2013	Bandas	longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI)	Banda 1 - Aerosol costero	0,43 - 0,45	30
	Banda 2 - Azul	0,45 - 0,51	30
	Banda 3 - Verde	0,53 - 0,59	30
	Banda 4 - Rojo	0,64 - 0,67	30
	Banda5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0,85 - 0,88	30
	Banda 6 - SWIR 1	1,57 - 1,65	30
	Banda 7 - SWIR 2	2,11 - 2,29	30

**Cuadro 1. Imágenes Landsat 8 utilizadas. Fuente: NASA**

Fueron colectadas informaciones sobre focos de calor, riesgo de fuego del CPETEC/INPE, y del sitio web de la NASA Rapid Response System (<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov>).

Se realizó la descarga de los focos de calor con la extensión .shp (Shapefile) que fueron ajustadas al datum WGS-84, que es usada por Bolivia. Las imágenes satelitales Landsat 8 fueron corregida radiométricamente a radiancia espectral y posteriormente a reflectancia, considerando la corrección atmosférica, previa combinación de bandas en RGB-754, a 30 m de resolución espacial. Figura 1.



**Figura 1. Imagen Landsat 8 (RGB-754) del 6 de agosto de 2013**

### Identificación de las quemas

Para la detección de las cicatrices de quemas se usó el algoritmo del cociente normalizado de quema (Normalized Burn Ratio NBR por sus siglas en inglés) adaptado para las imágenes Landsat 8. Estas series de imágenes han sido utilizadas para la cartografía de áreas quemadas (Bastarrika *et al.* 2006, Chuvieco *et al.* 2008). Se seleccionaron más de una imagen por escena por contaminación atmosférica, causada por el humo de las quemas en estas fechas.

### Cociente normalizado de quema (NBR)

Este cociente discrimina áreas quemadas en imágenes Landsat y MODIS ((Chuvieco *et al.* 2008a). El cálculo se basa en el contraste entre el infrarrojo cercano ( $\rho_{IRC}$ , 0.85–0.88  $\mu\text{m}$ ) sensible al agua en el suelo y la vegetación y el infrarrojo de onda corta ( $\rho_{SWIR}$ , 2.08–2.35  $\mu\text{m}$ ) sensible a la vegetación no fotosintética en un entorno post-incendio (Jia *et al.* 2006, Kokaly *et al.* 2007) en la ecuación:

El NBR fue definido por Key y Benson (1999) como:

$$NBR = \left( \frac{\rho_{IRC} - \rho_{SWIR}}{\rho_{IRC} + \rho_{SWIR}} \right)$$

Adaptado para las imágenes del Landsat 8:

$$NBR = \left( \frac{\rho_{IRC} - \rho_{SWIR}}{\rho_{IRC} + \rho_{SWIR}} \right) * 1000$$

Dónde:

$\rho_{IRC}$  = reflectividad del pixel *i* en la región del infrarrojo cercano.

$\rho_{SWIR}$  = reflectividad del pixel *i* en la región del infrarrojo medio de onda corta.

Independientemente del índice utilizado, la señal quemada o respuesta espectral de las áreas quemadas es variable por muchos motivos, el tiempo entre la quema y la captura de la imagen, humedad o la época del año, y el tipo de ecosistema. Algunas validaciones realizadas para cartografías de área quemada a gran escala han mostrado grandes diferencias dependiendo del tipo de vegetación afectada (Sifakis *et al.*, 2004; Parisián *et al.*, 2006; Chuvieco *et al.*, 2007; Loboda *et al.*, 2007).

### Validación

La evaluación de exactitud del mapa de cicatrices de quemas permite cuantificar el error asociado con la representación de las clases del mapa utilizando información independiente (IPCC, 2003).

Se realizó la verificación en campo de las quemas detectadas mediante el sensor Landsat 8 por medio de tabulación cruzada. Debido a la extensa área de las cicatrices de quemas, no es factible verificar todos los puntos en el área de interés. La exactitud fue evaluada utilizando un número manejable de “puntos de muestra” localizados sobre el área de estudio. Para la ubicación de estos puntos se utilizó el diseño de muestreo estratificado.

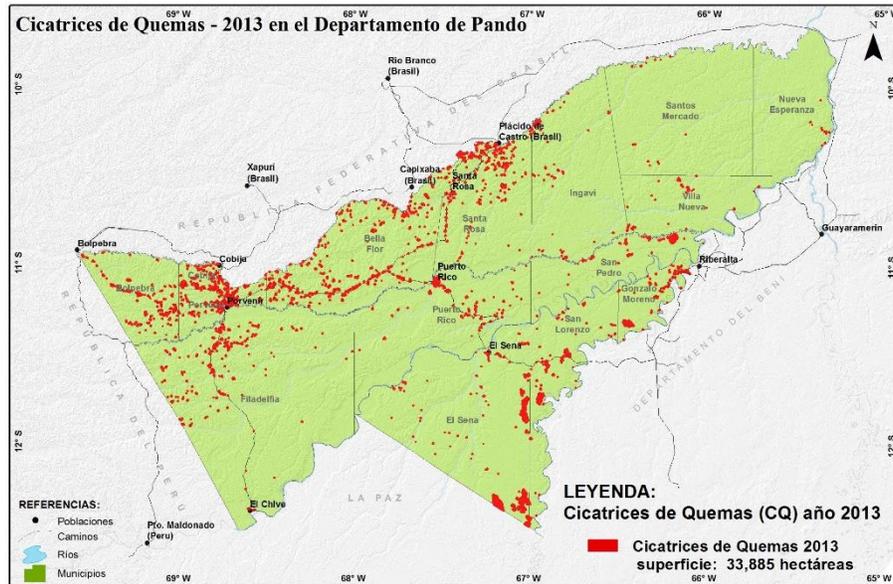
### 3. Resultados

Las cicatrices de quemas en el Departamento de Pando el 2013 se cuantificó en 30.885 hectáreas que son el 6,7% de la superficie total quemado desde el 2005 hasta el 2013.

Según los registros las cicatrices de quemas el año 2013 fueron superiores a las superficies registradas el 2012 y 2011. Hay que notar que el 2005 las hectáreas afectadas por quemas llegaron a más del 51 % (259.432 ha) y el año 2010 fueron un 21,3 % (108.093 ha). Otro año que fue notablemente afectado con quemas fue el año 2007.

## Detección de las áreas quemadas

La tabulación cruzada mostro que las cicatrices de quemas tiene una exactitud del 89%, 8% de error de omisión y 3% de error de comisión. Los resultados obtenidos muestran una sobreestimación de puntos detectados en la clasificación de cicatrices de quemas, sobre todo en áreas que son quemadas repetidamente pero que en la fecha de la imagen clasificada no se registraban. Mapa 2.

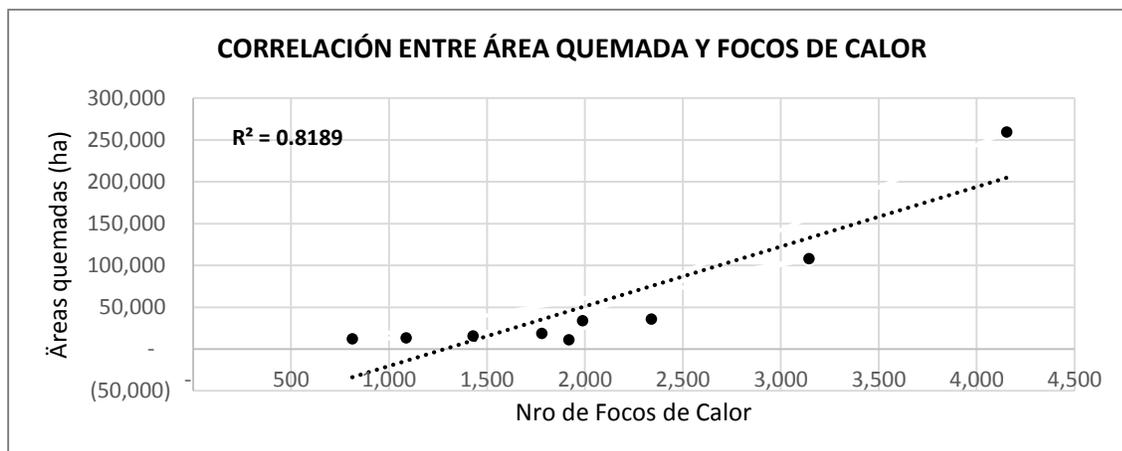


Mapa 2. Cicatrices de Quemadas del año 2013 en Pando

## Focos de calor y áreas quemadas

Un foco de calor es un punto geográfico (coordenadas X, Y) que indica el centro de un píxel (1 km x 1 km) donde se detectó una temperatura superficial alta o alguna anomalía térmica. Dependiendo del sensor satelital y de las características de la superficie, podría o no representar un foco de fuego o incendio. Los focos de calor se determinan mediante clasificación automática de la temperatura captados por el sensor que saturan los píxeles de 25°C para imágenes nocturnas y 42 °C para imágenes satelitales diurnas (ABT, 2011). En el Departamento de Pando se detectaron 1989 focos de calor el 2013.

Los valores de las quemadas y de los focos de calor tienen una correlación buena ( $0.8 < R < 0.9$ ), lo que indica que en la medida que aumentan los valores de los focos de calor también aumentan las áreas quemadas y viceversa.



**Grafico 1. Correlación de quemas y focos de calor**

### Cicatrices de quemas por Municipios

Las cicatrices de quemas en los Municipios el 2013 muestran que el Municipio de El Sena fue el que más superficie afectada registró con 10.748 hectáreas con el 31,7% del total de quemas, el segundo fue el Municipio de Bella Flor con una 6.070 hectáreas con el 17,9%, y en tercer lugar está El municipio de San Lorenzo con 2.999 hectáreas con el 8,9%. Ver cuadro 1.

NRO.	MUNICIPIO	CICATRI- CES DE QUEMAS	SUPERFICIE QUEMAS	PORCEN- TAJE QUEMAS
1	Bella Flor	410	6.070	17,9%
2	Bolpebra	153	1.616	4,8%
3	Cobija	98	1.861	5,5%
4	El Sena	97	10.748	31,7%
5	Filadelfia	203	1.815	5,4%
6	Gonzalo Moreno	92	1.719	5,1%
7	Ingavi	74	267	0,8%
8	Nueva Esperanza	12	44	0,1%
9	Porvenir	167	2.287	6,7%
10	Puerto Rico	126	1.206	3,6%
11	San Lorenzo	61	2.999	8,9%
12	San Pedro	65	1.617	4,8%
13	Santa Rosa	191	1.447	4,3%
14	Santos Mercado	25	51	0,2%
15	Villa Nueva	48	137	0,4%
<b>TOTAL</b>		<b>1.822</b>	<b>33.885</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 1. Superficie de Cicatrices de quemas en Municipios en Pando el 2013**

#### 4. Conclusiones

Las imágenes del satélite Landsat 8 OLI y su integración en los SIG posibilitan la elaboración de cartografía de cicatrices de quemas en diferentes espacios afectados por fuego. En el análisis multitemporal, la banda del infrarrojo cercano (banda 5) y del infrarrojo medio de onda corta (banda 7) del sensor Landsat 8 OLI son las que lograron discriminar mejor las cicatrices de quemas. Las cicatrices de quemas antiguas pudieron ser distinguidas por medio de interpretación visual con las bandas en falso color (ejemplo RGB - 754).

Las cicatrices de quemas se distinguen de una manera fácil visualmente, pero difícil en clasificar de forma automática, debido a la diversidad espacial y espectral causada por la diferencia del grado de severidad del incendio (Chuvieco *et al.* 2008b, Soverel *et al.* 2010). La discriminación de áreas quemadas aplicando el índice NBR en las imágenes Landsat fue satisfactoria (Figura 2). Por lo tanto, la aplicación del NBR permitiría determinar las áreas quemadas en imágenes Landsat de forma automática.

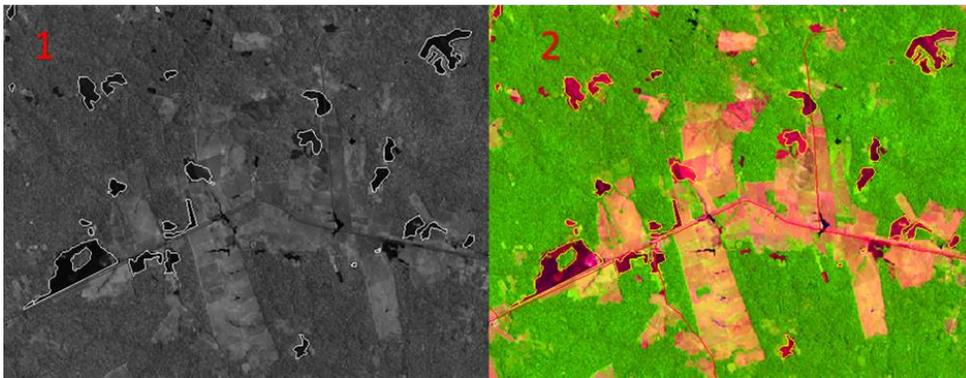


Figura 2. Cicatrices de quemas

#### 5. Bibliografía

Bastarrika & Chuvieco. Cartografía de área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes TM y ETM+. **Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, 182-204, 2006.

Brown IF, Schroeder W, Setzer A, Los Ríos Maldonado M de, Pantoja N, Duarte A, Marengo J. (2006). Monitoring Fires in Southwestern Amazonia Rain Forest. En: **EOS, Transactions, American Geophysical Union**. 2006. 87(26):253-264

Cardona, E., Cots, R. y Foster I. 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. En In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6453-6460. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-16380-PRE/10958). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.20.16.57>>. Acesso em: 17 set. 2014.

Chuvieco, E., P. Englefield, A. P. Trishchenko & Y. Luo. **Generation of long time series of burn area maps of the boreal forest from NOAA-AVHRR composite data**. *Remote Sensing of Environment* 112: 2381-2396, 2008.

Gómez N. Martín I, Estudio comparativo de índices espectrales para la cartografía de áreas quemadas con imágenes MODIS. Madrid, **Departamento de Geografía, Instituto de economía y geografía**, CSIC, 2006.

Jia, G. J., I. C. Burke, A. F. H. Goetz, M. R. Kaufmann & B. C. Kindel. Assessing spatial patterns of forest fuel using AVIRIS data. **Remote Sensing of Environment** 102: 318-327, 2006.

Martínez MJ, Morales G, Villegas Z, Malla M. **Fuego en el Pantanal: Incendios Forestales y pérdidas de recursos de biodiversidad en San Matías-Santa Cruz.** La Paz, Bolivia: UARGM - CEDURE – PIEB. 2003.

Quintano & Shimabukuro. Estimación de superficie quemada mediante la aplicación sinérgica de OBIA y SMA a imágenes WFI CBERS In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 4797-4804. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTBW/3485PTL>>. Acesso em: 17 set. 2014.

Sandoval Yuri. **Información sistematizada sobre incendios forestales y reporte del comportamiento con un historial de 10 años atrás cuantificado.** IN FORESTAL, D. G. D. G. Y. D. (Ed.). La Paz, Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y de Gestión y Desarrollo Forestal. 2011.

Souza, C., Firestone, L., Moreira, Roberts, D.. Mapping forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT 4 through spectral mixture models. Remote Sensing of Environment 87 (2003) p. 494-506. 2002.

Soverel, N. O., D. D. B. Perrakis & N. C. Coops. **Estimating burn severity from Landsat dNBR and RdNBR indices across western Canada.** Remote Sensing of Environment 114: 1896-1909, 2010.

Tonatto, J. **Teledetección de quema de cañaverales en la provincia de Tucumán (Argentina) mediante sistema MODIS.** Sitio argentino de Producción Animal, 5, 2008.