



## Monitoreo de Quemas en el departamento de Pando – Bolivia año 2015 mediante Sistemas de Información Geográfica y Teledetección

Hugo Leonardo Fuentes Nay<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Herencia, Av. Chelio Luna Pizarro, N°. 150 – Cobija – Pando, Bolivia

pando@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 in the department of Pando Amazon region of Bolivia. The areas 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 2015. 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 2015 was 38.519 hectares, representing 0,60% of the total area of the department of Pando. Historically the largest forest fires occurred in 2005 and 2010, covering 264.723 hectares surfaces and 108.813 hectares, respectively.

**Palabras clave:** Quemas, Incendios forestales, Landsat 8, Teledetección, SIG remote, sensing, image processing, sensoriamento remoto, processamento de imagens.

### 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 quemas indeseadas, Brown IF (2006).

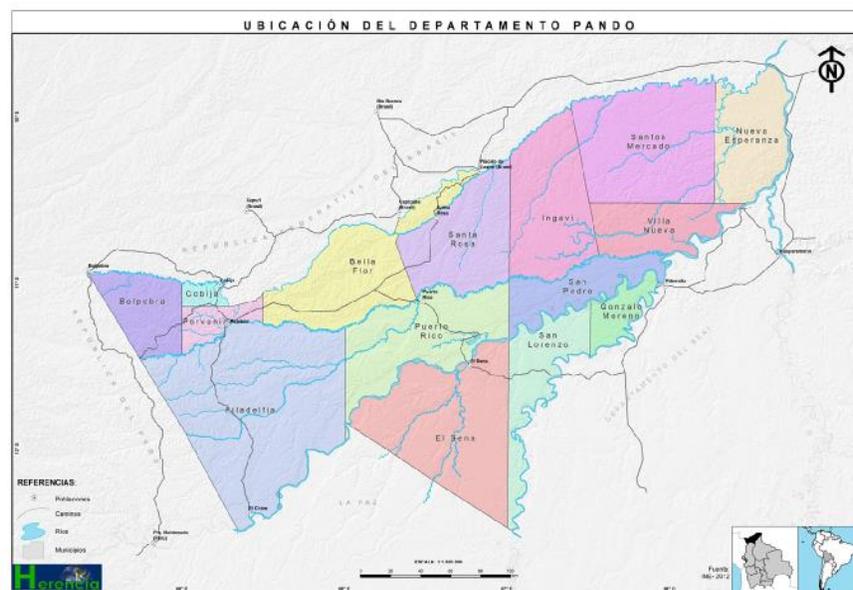
Este trabajo surge del problema de las quemas en el departamento de Pando – Bolivia, y realizar un estudio mediante imágenes de satélite Landsat 8 como instrumento de monitoreo de las quemas el año 2015 y mostrar los resultados para aplicar mecanismos de control en el manejo del fuego y la deforestación de este departamento amazónico.

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 en áreas boscosas. 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 el departamento de Pando el 2005, se utilizó imágenes del satélite CBERS-CCD, de la página del INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) por sus siglas en portugués, los resultados del área afectada por el fuego suponían una subestimación, sin embargo la superficie quemada de más de 200 mil ha, llego a ser 6 veces mayor que la cifra oficial, lo cual indica que el desconocimiento de las autoridades del 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 de Trabajo

La detección, localización, delimitación y cuantificación de las áreas de quemas mediante imágenes satelitales Landsat 8 se las realizo 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.



Mapa 1. Ubicación del área de estudio – departamento Pando – Bolivia

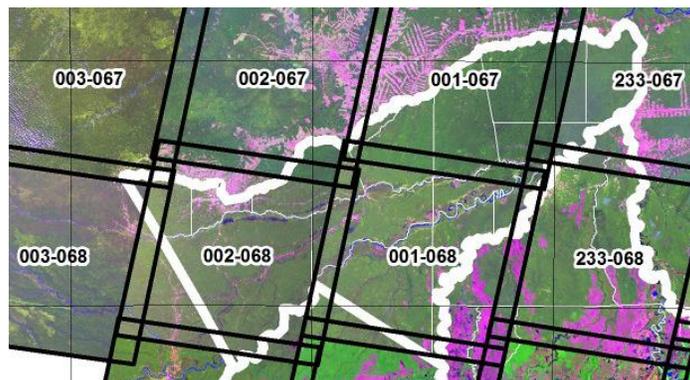
En la cuantificación de áreas de las cicatrices de quemas se utilizaron los siguientes datos:

- Focos de calor del Centro de Previsiones del Tiempo y Estudios Climáticos–CPETEC/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/>).
- Imágenes del satélite Landsat 8 para la región de Pando, fueron descargadas de la página Web del INPE (<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>). Cuadro 1.

Año 2015	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: INPE**

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) de fecha 23-09-2015**

### Identificación de Áreas de Quemadas

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 y nubes en estas fechas de agosto a octubre.

## Cociente Normalizado de Quema (NBR)

Este cociente separa 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 de las 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.

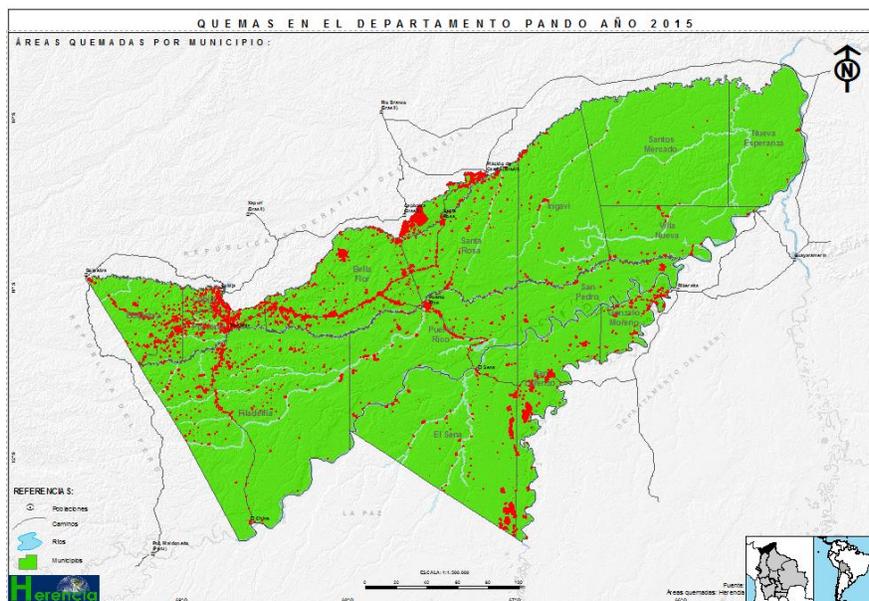
## 3. Resultados y Discusión

Las áreas de cicatrices de quemas en el departamento de Pando el año 2015 se cuantificó en 38.519 hectáreas que es el 7,4% de la superficie total quemado desde el año 2005 hasta el 2015.

Según los registros las cicatrices de quemas el año 2015 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 47,9 % (264.723 ha) y el año 2010 fueron un 19,7 % (108.813 ha). Otro año que fue notoriamente afectado con quemas fue el año 2007 con 6,6 % (36.389 ha).

## 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.

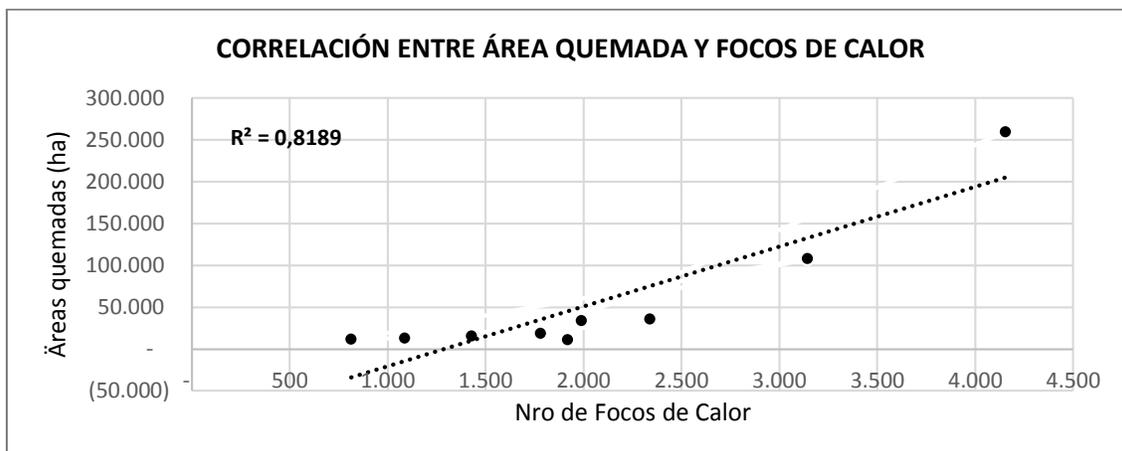


Mapa 2. Cicatrices de Quemadas del año 2015 en Pando

## 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 4.903 focos de calor el año 2015.

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



**Gráfico 1. Correlación de quemas y focos de calor en Pando.**

### Cicatrices de Quemadas por Municipios

Las cicatrices de quemadas por municipios el año 2015 muestran que el municipio de Bella Flor (frontera con la República Federativa del Brasil) es el que más superficie afectada registró con 13.252 hectáreas con el 34,4% del total de quemadas, el segundo fue el Municipio de San Lorenzo con 4.996 hectáreas con el 13,0%, y en tercer lugar está El municipio de El Sena con 4.706 hectáreas con el 12,2% y el resto de municipios con porcentajes menores al 10%. Ver cuadro 2.

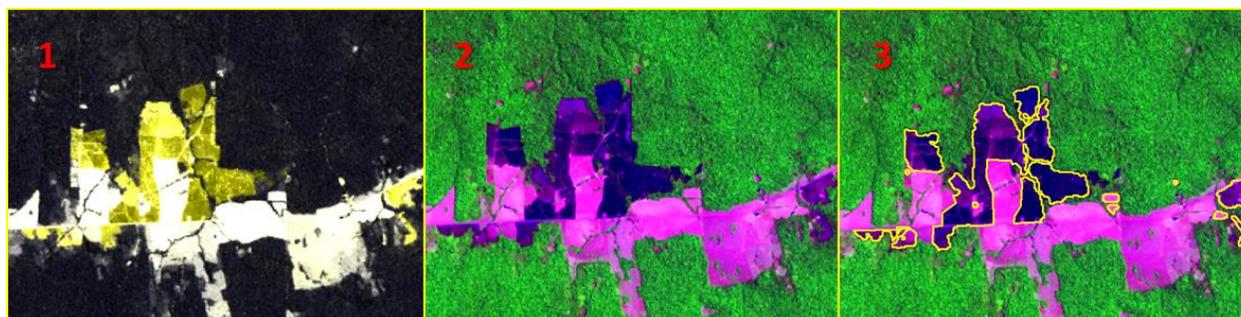
NRO.	MUNICIPIO	CICATRICES DE QUEMADAS	SUPERFICIE QUEMADAS	PORCENTAJE QUEMADAS
1	Bella Flor	1,051	13,252	34.4%
2	San Lorenzo	228	4,996	13.0%
3	El Sena	329	4,706	12.2%
4	Filadelfia	522	3,220	8.4%
5	Bolpebra	395	2,557	6.6%
6	Porvenir	386	2,480	6.4%
7	Puerto Rico	236	2,325	6.0%
8	Santa Rosa	300	1,463	3.8%
9	Cobija	327	1,348	3.5%
10	Gonzalo Moreno	220	777	2.0%
11	San Pedro	74	537	1.4%
12	Ingavi	114	508	1.3%
13	Villa Nueva	88	226	0.6%
14	Nueva Esperanza	26	73	0.2%
15	Santos Mercado	29	52	0.1%
<b>TOTAL</b>		<b>4,325</b>	<b>38,519</b>	<b>100%</b>

**Cuadro 2. Superficie de Cicatrices de Quemadas en Municipios en Pando el 2015**

#### 4. Conclusiones

Las imágenes del satélite Landsat 8 OLI y su integración en los SIG posibilitaron la elaboración de cartografía de Cicatrices de Quemadas 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 quemadas. Las cicatrices de quemadas antiguas pudieron ser distinguidas por medio de interpretación visual con las bandas en falso color (ejemplo RGB - 754).

Las cicatrices de quemadas 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 Quemadas discriminación imágenes Landsat 8 OLI**

#### Referencias Bibliográficas

- 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/3ERPFRQRTBW/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 índices 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.