
Tecnologías de Información Geográfica aplicadas al estudio espacio-temporal de un incendio. Estudio de caso: Parque Nacional Pilcomayo – Formosa - Argentina (Septiembre 2015)

Geographic Information Technologies applied to the spatial-temporal study of a wildfire. Case Study: Pilcomayo National Park, Formosa province, Argentina (September 2015)

Valania, María Paula¹

¹ Centro de Estudios Sociales de América Latina (CESAL), UNICEN. Campus Universitario, Paraje Arroyo Seco s/n, Tandil, CP: 7000, Buenos Aires, Argentina

Email: pvalania@gmail.com

Valania, M P. (2023). Tecnologías de Información Geográfica aplicadas al estudio espacio-temporal de un incendio. Estudio de caso: Parque Nacional Pilcomayo – Formosa - Argentina (Septiembre 2015). *Revista Estudios Ambientales*, 11 (2), 17-31.

Recibido: 27/10/2023 - **Aceptado:** 05/12/2023 - **Publicado:** 29/12/2023

RESUMEN

El trabajo analiza la utilidad de la aplicación de herramientas del ámbito de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), tales como la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), en el estudio espacial y temporal de un incendio. Como caso de estudio se ha considerado un evento de este tipo que involucró una vasta cobertura de pastizales naturales, ocurrido en zona de humedales en el Parque Nacional Pilcomayo, Formosa (Argentina), en septiembre de 2015.

A través del procesamiento y análisis de datos espectrales, obtenidos a partir de teledetección satelital, pudieron definirse: las características del evento (inicio, propagación, extensión y duración), la dinámica presentada por la cobertura vegetal dominante con posterioridad al incendio, así como también identificarse patrones de su recurrencia histórica para el área de estudio (AE). Para ello se trabajó con diversos productos e

imágenes satelitales a diferentes escalas temporales (previas, simultáneas y posteriores al evento en análisis); su interpretación y procesamiento, mediante el cálculo de índices espectrales, permitió caracterizar el incendio en cuanto a los aspectos de interés señalados. El estudio de caso abordado presenta un claro ejemplo de cómo las TIG permiten realizar un seguimiento continuo, actualizado y económicamente viable de los incendios, a distintas escalas espaciales y para diferentes tipos de usuarios, tanto para científicos como para los tomadores de decisión.

PALABRAS CLAVE: incendio, sistemas de información geográfica, teledetección, índices espectrales, humedal.

ABSTRACT

This work analyzes the usefulness of applying tools from the field of Geographic Information Technologies (GIT), such as remote sensing and Geographic Information Systems (GIS), in the spatial and temporal study of a fire. This case study analyzed a disturbance of this type involving a vast natural grassland cover, which occurred in a wetland area in Pilcomayo National Park, Formosa province, Argentina, in September 2015.

Through the processing and analysis of satellite data, it was possible to define the characteristics of the event, namely onset, propagation, extent, and duration, the dynamics exhibited by the dominant vegetation cover following the disturbance, and the historical recurrence patterns of the event for the Study Area (SA) analyzed. To achieve this, various satellite products and images before, during, and after the disturbance were used. They were processed and interpreted by calculating spectral indices, which allowed for the characterization of the fire event in terms of the aspects of interest above mentioned.

This case study provides a clear example of how satellite remote sensing technologies enable continuous, up-to-date, and economically viable monitoring of fires at different spatial scales and for various types of users, including both scientists and policymakers.

KEY WORDS: fire, geographic information systems, remote sensing, spectral indices, wetland

INTRODUCCIÓN

Las características de un ecosistema y su dinámica están definidas por las condiciones ambientales actuales pero además por los cambios y perturbaciones ocurridas en el pasado. Dichas perturbaciones o disturbios pueden definirse como eventos más o menos discretos en el tiempo y en el espacio, fuente de alteraciones en la estructura de las poblaciones, de las comunidades o del ecosistema que provocan cambios en la disponibilidad de recursos o en el ambiente físico (Pickett, Wu y Cadenasso, 1999). En este contexto, el fuego como evento de perturbación del ecosistema, produce alteraciones importantes en él, tales como cambios en la vegetación del suelo o el paisaje, modificaciones en el balance de energía y agua, en los ciclos biogeoquímicos, perturbaciones físico-químicas en la atmósfera, pérdidas económicas o daños en la salud y la vida de las personas (Di Bella y Posse, 2014). “Mientras el término fuego designa toda situación en que arden o se queman sustancias, la palabra incendio tiende a usarse para nombrar fuegos indeseados o dañinos” (Di Bella, Fischer y Mari, 2008).

El régimen y patrones espaciales de los incendios dependen no sólo de acciones humanas directas e indirectas sino también de las interacciones con otras características de los ecosistemas, tanto bióticas (tipos y humedad de los combustibles) como abióticas (temperatura, viento o humedad relativa) de los ecosistemas (Di Bella y Posse, 2014). El inicio de un incendio está principalmente determinado por el origen de la energía de activación, natural o antrópica (Salinero, 2003); la combustión, su propagación y duración se encuentran influenciadas tanto por factores ambientales como potencialmente por ciertos factores antrópicos que favorecen o impiden su propagación. Algunos de los factores

ambientales a considerar están relacionados con las condiciones meteorológicas y topográficas, tipo, estado y cantidad de material combustible (Lee et al., 2002; Salinero, 2003); como ejemplos de los factores antrópicos que pueden condicionar la propagación de un incendio pueden mencionarse las condiciones de accesibilidad para su combate y la presencia de vías de comunicación que actúen como cortafuegos (Di Bella y Posse, 2014).

Una de las tecnologías que más ha contribuido a caracterizar y manejar esta clase de disturbios es la teledetección. Las imágenes provenientes de sensores remotos pueden interpretarse a través de las firmas espectrales de las diferentes coberturas terrestres, o sea su comportamiento espectral típico (Paruelo, 2008). La vegetación vigorosa refleja escasa energía en el espectro del visible debido a la mayor absorción requerida por la fotosíntesis, mientras que una gran proporción de la energía recibida en el Infrarrojo Cercano (IRc) es reflejada debido a características de una estructura foliar sana (Guyot, Baret y Jacquemoud, 1992). A partir de este comportamiento espectral característico pueden construirse índices que resalten la vegetación sana, tal como el NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) que combina los datos de energía reflejada en el IRc y en el rojo (visible), (Rouse, Haas, Schell y Deering, 1974; Bannari, Morin, Bonn y Huete, 1995).

Las coberturas vegetales quemadas presentan variaciones en su comportamiento espectral: aumento de energía reflejada en el espectro del visible (rojo) debido a la disminución o nula actividad fotosintética junto con caídas notables en la energía reflejada en el IRc, motivadas por el deterioro interno de la estructura foliar. Además de un comportamiento más variable en la porción del *Short Wave Infrared* (SWIR),

generalmente un aumento de la respuesta humedad (White, Ryan, Key y Running, 1996). Ver figura 1.

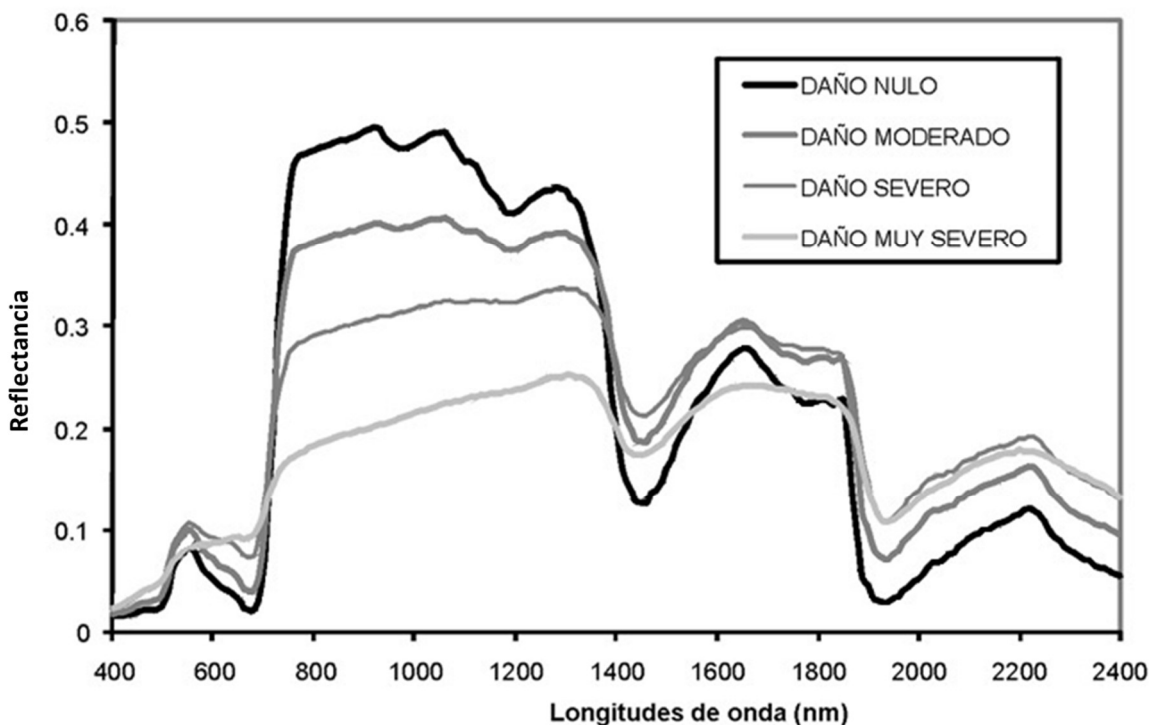


Figura 1: Cambios que experimenta la firma espectral de la vegetación en relación al nivel de daño sufrido por el incendio. (Fuente: De Santis y Vaughan, 2009)

Considerando las características espectrales de la cobertura vegetal del área de estudio (AE), o sea, su firma espectral, y valiéndose del uso complementario de Sistemas de Información Geográfica (SIG), el presente trabajo busca definir una metodología basada en teledetección para el análisis y la caracterización de los incendios, basándose para ello en un caso de estudio particular que ofrece características especialmente “exigentes” para la metodología en análisis, desde el punto de vista de la velocidad de recuperación de su cobertura vegetal.

Dicha metodología pretende: 1) detectar y cuantificar las áreas afectadas, 2) establecer

el progreso, temporal y espacial, del incendio; 3) realizar el análisis de la severidad o daño provocado; 4) determinar el tiempo de recuperación de la cobertura vegetal, y, 5) establecer un posible patrón histórico de recurrencia.

METODOLOGÍA

Evento en estudio

Se seleccionó un evento del tipo incendio de pastizales naturales, así definido por la Administración Nacional de Parques Nacionales (2015), ocurrido en septiembre de 2015 en el Parque Nacional Pilcomayo

(25°04'00"S 58°07'00"O), Provincia de Formosa, República Argentina (figura 2).

La elección de la zona geográfica y la época del año en la que se presentó el evento buscan validar la eficacia de la metodología propuesta. Sus características de humedal con un clima tropical húmedo, con cobertura de pastizal natural abierto, y la estación del año en la que el evento se produce

(prácticamente al inicio de la primavera), presuponen un bajo tiempo de recuperación de la cobertura vegetal. Esta circunstancia permite evaluar si la información brindada por la teledetección ofrece la suficiente resolución temporal como para permitir registrar cambios que se producen muy rápidamente y así obtener una adecuada caracterización del incendio.

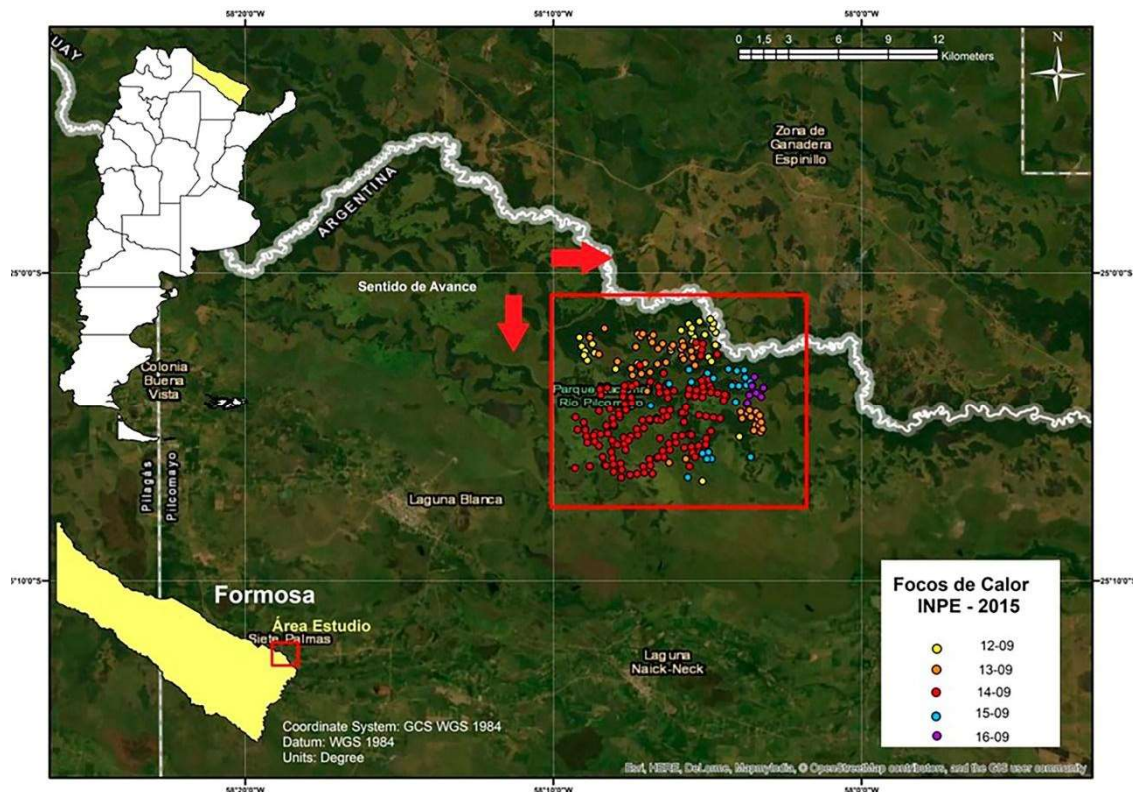


Figura 2: Área de Estudio: Parque Pilcomayo — Área de localización de focos de calor INPE – Septiembre 2015. (Fuente: elaboración propia)

Información satelital

La metodología desarrollada se basó en el análisis y procesamiento de los siguientes productos e imágenes satelitales:

● **MOD09A1:** MODIS/Terra Surface Reflectance – Resolución

espacial: 500 m – Resolución temporal: 8 días - Fechas colección: 21/08/2015–31/10/2015.

● **MYD14A2:** MODIS/Aqua Thermal Anomalies/Fire - Resolución espacial: 1000 m – Resolución temporal:

8 días - Fechas colección: 01/09/2015–30/09/2015.

● **INPE:** Focos de Calor – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales – Brasil - (Fuentes: Acqua Mañana/Terra Mañana-Tarde/ATSR Noche/NOAA-12-16 Noche-Mañana/GOES-12).

Datos relacionados al incendio en análisis: intervalo de tiempo del 01/09/2015 – 30/09/2015.

Datos relacionados a la evaluación histórica de ocurrencia de incendios: intervalo de tiempo del 01/07 al 31/10 para el período 2000-2014.

● **SatVeg** – Sistema de análisis temporal de vegetación – Embrapa Informática Agropecuaria.

Las imágenes y productos utilizados fueron previamente proyectados a POSGAR 2007/F6, correspondiente a la zona de ocurrencia del evento.

Detección de focos de calor La metodología de trabajo se basó en la obtención inicial de los focos de calor asociados al incendio a partir del producto INPE. Éstos hacen referencia a zonas de la superficie terrestre que presentan temperaturas anómalas. Su presencia no da certeza completa de la ocurrencia de fuego; el disturbio puede ser subestimado, por ejemplo, por la presencia de nubes o ser sobreestimada el área afectada por la detección de pequeños focos que son asociados a un píxel completo, relacionado a la resolución espacial del sensor. Sin embargo ofrecen un buen punto de partida para comenzar el análisis de un potencial disturbio dada su amplia disponibilidad y su buena resolución espacio-temporal (Mari et al., 2007).

Validación de ocurrencia del incendio

Para complementar el trabajo de puntos de calor se recurrió al producto MYD14A2 de MODIS que permite certeramente validar la ocurrencia del disturbio. Este producto espectral sintético brinda para cada píxel un valor de máscara de fuego en una escala de 1 a 9, donde a mayor valor, mayor probabilidad de que el disturbio incendio esté presente. Un valor de 9 califica al píxel correspondiente como de completa certeza de fuego.

Avance y duración del incendio

A través de la clasificación de los focos de calor del evento, en base a su atributo “fecha de ocurrencia”, pudo establecerse el progreso del incendio, tanto en cuanto a su desarrollo espacial como temporal.

Área afectada

Para poder analizar el área quemada se recurrió a imágenes del producto MOD09A1, de de buena resolución temporal y espacial para el análisis de incendios. Considerando los cambios espectrales que se han mencionado como esperables respecto de la cobertura vegetal, se utilizaron imágenes con combinación RGB de falso color compuesto (SWIR-NIR-R). Dichas imágenes corresponden a fechas antes y después al incendio. Las técnicas de fotointerpretación de estas imágenes permiten tener una idea aproximada de la superficie afectada.

Para una discriminación más precisa del área quemada se utilizó un índice específico, el *Normalized Burnt Ratio* (NBR) (Key y Benson, 2006), procesando los píxeles de las diferentes bandas en cada una de las dos imágenes mencionadas

$$NBR = \frac{(IRc - SWIR)}{(IRc + SWIR)}$$

Este índice permite obtener una diferencia normalizada de las reflectancias en el Infrarrojo Cercano (IRc) y el Infrarrojo Medio de Onda Corta (SWIR) en cada una de las imágenes procesadas (pre y post evento). Se obtuvieron así sendas capas ráster, NBR_t y NBR_{t+1} , respectivamente. A partir de ellas se puede analizar el posible cambio temporal del valor del NBR entre ambas fechas para cada píxel, mediante la siguiente fórmula:

$$dNBR = NBR_t - NBR_{t+1}$$

Este índice será nulo para los píxeles donde no ha habido cambios y mayor que 0 si el área se vio afectada por un incendio. De esta forma, para la cuantificación de las áreas

quemadas se obtuvo una máscara creada a partir de esta variación temporal, $dNBR$, asignándole valor 1 a los píxeles con $dNBR$ distinto de cero (indicador de área quemada) y valor cero al resto.

Severidad-Recuperación

La severidad de un incendio puede definirse como el tiempo que transcurre hasta que la vegetación vuelva a los niveles previos al disturbio o a su funcionamiento pre-incendio (Lentile et al., 2006). Por ello la severidad del incendio se puede evaluar en base al índice de vegetación NDVI, que servirá para estimar el tiempo de regeneración de la vegetación afectada a través de la siguiente fórmula (Díaz-Delgado, Lloret y Pons, 2003

$$Q_{NDVI} = \text{Promedio NDVI}_{\text{área quemada}} / \text{Promedio NDVI}_{\text{control}}$$

Dónde:

- Promedio $NDVI_{\text{área quemada}}$: media de los valores de NDVI de un área testigo quemada durante el evento.
- Promedio $NDVI_{\text{control}}$: media de valores de NDVI de un área control, sin quemar, contigua a la zona afectada y de igual funcionamiento al área quemada pre-incendio. Como área de control se eligió una zona próxima a la del incendio, siendo el criterio para su elección el que ambas zonas pre-incendio presentaran características funcionales y estructurales semejantes: valores de NDVI promedio y coberturas similares.

Patrón histórico de recurrencia (2000-2014)

Para la valoración de este aspecto se contabilizaron la cantidad de focos INPE para el periodo analizado que va del año 2000 al 2014 así como la evolución del NDVI promedio para el área (SatVeg).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Detección de focos de calor

La tabla 1, basada en la tabla de atributos de la capa de focos de calor, muestra la cantidad de focos detectados en cada uno de los días en los que se desarrolló el incendio. El mismo presentó su magnitud más crítica el 14/09, con la mayor cantidad de focos de todo el disturbio. También en base a esta información se establece que la duración del incendio fue de 5 días (12/09 al 16/09 inclusive). Los focos de calor se obtuvieron a partir de las diferentes fuentes

provistas por el *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovacoes – Brasil* (INPE). En base a estos focos se definió un área más reducida que los abarcara

completamente, de 13000 ha aproximadamente, de forma tal de contar con una zona de menor superficie que facilitara el trabajo (figura 2).

Tabla 1: Cantidad de Focos de Calor por día (Sept 2015)

Día Sept. 2015	Cant. Focos de Calor
1 al 11	0
12	30
13	48
14	192
15	24
16	15
17 al 30	0

Validación de ocurrencia del evento

Para el período analizado, del 01/09/2015 al 30/09/2015, se tomó la “imagen” del producto MYD14A2 correspondiente al 14/09/2015, única imagen de la serie temporal mencionada donde se detectan píxeles de certeza de incendio, con valores de “máscara de fuego” igual a 9, en coincidencia con lo presentado en la tabla 1 para ese día, con máxima cantidad de focos activos. A través de la visualización de este producto en un SIG, los píxeles de “certeza de incendio” se muestran, en una simbología gris monobanda, en color blanco por estar asociados al valor máximo de la muestra. Estos píxeles se muestran como imagen base del área de focos en la figura 3(b), en correspondencia con los mismos focos dispuestos sobre un mapa satelital, apreciables en la figura 3(a).

De esta forma se garantiza la ocurrencia de un disturbio tipo incendio para la fecha señalada. A pesar de ello este producto no resulta de utilidad para cartografiar el evento ni estimar el área afectada por el mismo dada su baja resolución espacial (1000 m).

En la misma imagen pueden apreciarse gran cantidad de focos no asociados con áreas de certeza de incendio (presencia de focos sobre píxeles negros o en escala de grises); esto puede estar motivado por los mismos posibles factores de sobrestimación ya formulados para el caso de los “focos de calor”, además de la escasa resolución espacial mencionada. A pesar de ello se aprecia un discreto ajuste entre los focos detectados y las áreas definidas como certeza/sospecha de fuego (blanco/escala de grises: a valores más claros, mayor indicio de ocurrencia)

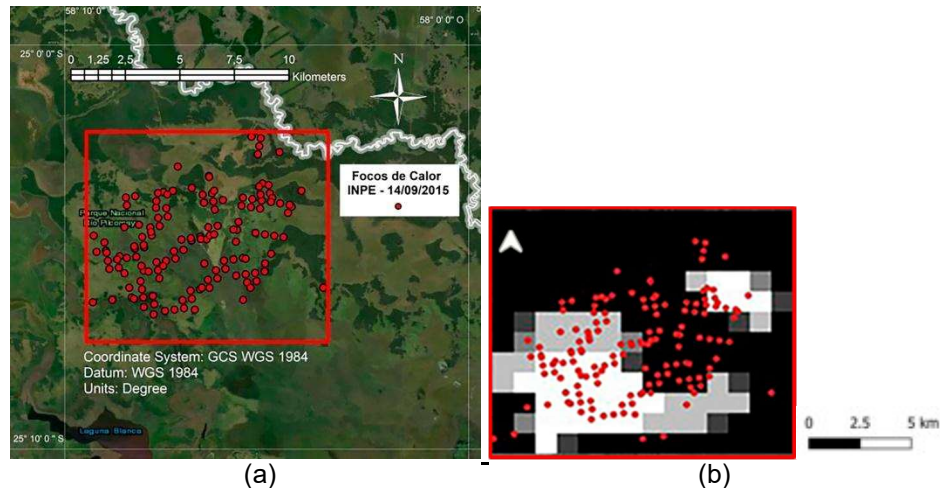


Figura 3: Área de localización de focos de calor INPE y focos del 14/09/2015
(a) Sobre Imagen Satelital - (b) Sobre producto MYD14A2. (Fuente: elaboración propia)

Avance y duración del disturbio

De acuerdo a lo observado en la figura 2 y en la tabla 1, el desarrollo del incendio se produjo entre el 12/09/2015 al 16/09/2015 inclusive. Utilizando una simbología graduada en color en función de la fecha de detección del foco correspondiente, puede apreciarse que el avance del incendio se produjo principalmente en una transecta con sentido NO–SE, ampliándose el frente de su cobertura en el sentido del avance.

Área afectada

La figura 4 muestra sendos recortes, pre y post disturbio, del AE donde se disponen los focos de calor del día crítico sobre imágenes del producto MOD09A1 en falso color compuesto (SWIR-NIR-R):

● Figura 4 (a): fecha previa al evento, 21/08/2015. Muestra de forma superpuesta la capa de focos de calor detectados a posteriori, a fin de contar con una referencia espacial del sitio

dónde sucedería el evento en los días próximos, y

● Figura 4 (b): recorte del área abarcada por los focos de calor en la primera fecha posterior a la ocurrencia del último foco detectado, 22/09/2015.

Puede distinguirse claramente en la figura 4 (b), a través de fotointerpretación visual, la zona afectada dentro del AE (tonos morados). La combinación de estas bandas permite realizar la respuesta de la vegetación quemada, logrando detectarse fácilmente los límites entre zonas afectadas y no afectadas por el incendio (Chuvienco et al., 2002). A su vez también se corrobora un muy buen ajuste con la disposición de los focos de calor superpuestos. Los tonos morados presentes en la imagen base post disturbio indican la prevalencia de reflectancias en el SWIR y el Rojo, además de la prácticamente nula reflectancia en el IRc, todo ello indicio de ausencia de actividad fotosintética (figura 1).

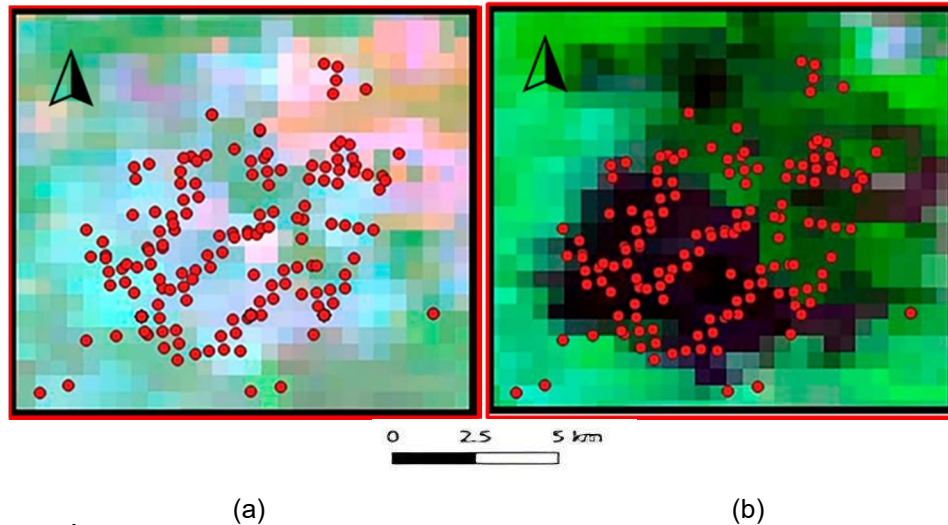


Figura 4: Área de localización de focos de calor INPE en falso color compuesto (SWIR-NIR-R) y focos del 14/09/2015, (a) previa y, (b) posterior al incendio. (Fuente: elaboración propia)

La figura 5 presenta los focos de calor dispuestos sobre una máscara elaborada a partir de la diferencia de índices NBR pre y post disturbio (dNBR). Los valores de NBR para cada fecha se han calculado a partir de las imágenes del producto MOD09A1 señaladas en el inciso anterior. Para la cuantificación de las áreas quemadas se obtuvo una máscara creada a partir de la variación temporal de NBR, dNBR, con píxeles valor 1 para áreas quemadas y valor cero al resto. El trabajo de Chuvieco y colaboradores (2008), relacionado a la

generación de cartografía de áreas quemadas para Latinoamérica, brinda un claro ejemplo de aplicación de estos índices. La figura 5 presenta lógicamente un buen ajuste respecto a lo exhibido e interpretado visualmente en la figura 4 (b), teniendo en cuenta que ambas figuras muestran píxeles relacionados a las mismas bandas del espectro electromagnético. Muestra además una buena correlación con las ubicaciones de los focos de calor superpuestos, si bien éstos denotan una subestimación de la superficie afectada, esperable de acuerdo a Di Bella et al. (2008).

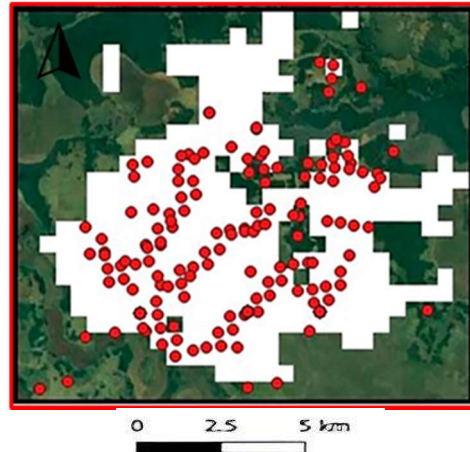


Figura 5: Área de localización de focos de calor INPE - Focos de calor dispuestos sobre máscara creada a partir de la variación temporal de NBR (pre/post fuego). (Fuente: elaboración propia)

A partir de esta máscara (figura 5) se calculó la cantidad de píxeles con valor "1" (zona quemada) para, considerando la resolución espacial de la imagen, estimar el área aproximada de afectación: 7350 ha.

Severidad-Recuperación

La tabla 2 presenta el cálculo correspondiente de QNDVI, efectuado para cada fecha disponible previa y posterior al evento, según la resolución temporal provista por el producto de teledetección usado en este caso, MOD09A1.

Tabla 2: Valores NDVI promedio (áreas quemada y control) y QNDVI – Fechas pre y post incendio

Fecha		Condición	NDVI Promedio		QNDVI
MODIS	Calendario		Área Incendio	Área Control	
233	21/8/2015	Pre-Fuego	0,53	0,53	1,00
257	14/9/2015	Fuego	0,17	0,42	0,40
265	22/9/2015	Post-Fuego	0,30	0,48	0,63
281	08/10/2015	Post-Fuego	0,34	0,48	0,71
289	16/10/2015	Post-Fuego	0,48	0,47	1,01

Severidad o Daño: este valor está dado por la magnitud de la caída proporcional máxima del NDVI en el área quemada, respecto de su funcionamiento previo al evento:

$$D = \text{pre_QNDVI} - \text{post_QNDVI} = 1 - 0,4 = 0,6 \quad (1)$$

Tiempo de recuperación: cantidad de días hasta alcanzar los valores de NDVI pre-fuego:

T = 32 días (del 14/09/2015 al 16/10/2015) A continuación, la figura 6, explicita estos valores de forma gráfica.
 (2)

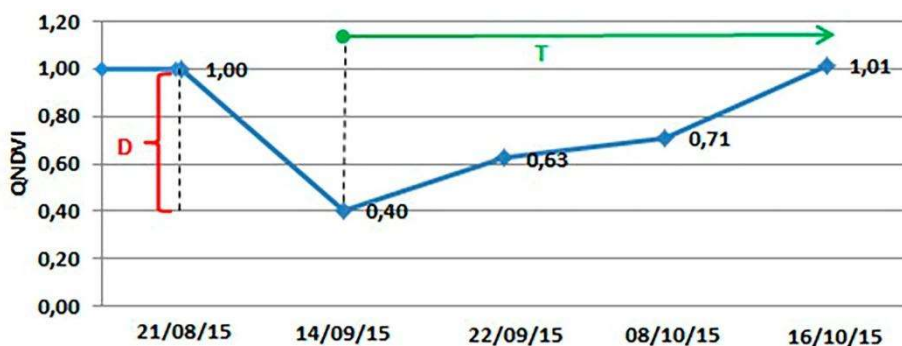


Figura 6: Evolución QNDVI pre y post fuego – severidad y tiempo de recuperación

Un ejemplo de aplicación de la presente metodología para el análisis de severidad y tiempo de recuperación de un incendio, es el presentado por Mari et al. (2007), para una amplia región de la Argentina, donde se encuentra contenida el AE razón por la cual la comparación de resultados puede resultar de interés. El daño producido por el incendio en estudio representa una caída del orden del 60% (ecuación (1)) de la actividad fotosintética de la cobertura respecto a su situación pre-incendio. De acuerdo al trabajo de referencia, el daño registrado está asociado a una calificación de severidad especialmente baja, considerando la categorización de la cobertura como de pastizal abierto, perteneciente a la ecoregión del Chaco húmedo. Dado que la severidad de un incendio (daño ocasionado por el fuego a la vegetación) influye en forma marcada sobre el tiempo de recuperación de las plantas (Di Bella, Fischer y Mari, 2008),

el evento analizado muestra un intervalo de recuperación de 32 días (ecuación (2), figura 6), sensiblemente menor que los valores medios presentados por el trabajo de referencia en otros eventos para pastizales comparables. Cabe señalar que, para ambientes de las características planteadas por Mari y colaboradores (2007), los arbustales y pastizales abiertos presentan altos niveles de recuperación en comparación con bosques caducos y húmedos; los valores más altos de recuperación se asocian con especies herbáceas y leñosas finas, que tienen mayor capacidad de germinación y rebrote.

Patrón histórico de recurrencia (2000-2014)

La tabla 3 muestra la cantidad de focos totales detectados por año en el AE para el período 2000-2014, sólo considerando para cada año la temporada de ocurrencia aproximada del incendio en estudio, del 01/07 al 31/10.

Tabla 3: Cant. Anual focos INPE Temporada 01/07-31/10

Año	Cant.	Año	Cant.	Año	Cant.
2000	0	2005	23	2010	28
2001	43	2006	30	2011	17
2002	4	2007	87	2012	97
2003	34	2008	61	2013	17
2004	11	2009	0	2014	37

La figura 7 muestra la variación del NDVI para el centroide del área de disposición de focos de calor INPE del presente evento (figura 2), para el período 2000-2016,

presentándose recurrentes caídas abruptas, potencialmente atribuibles a disturbios fuego así como también inundación, año 2003, con valores negativos de NDVI.

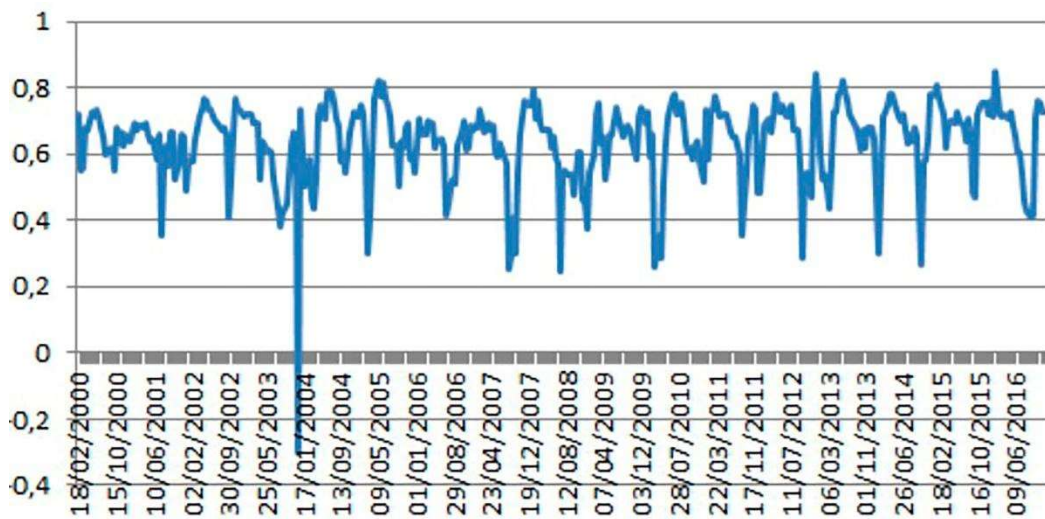


Figura 7: Evolución NDVI 2000-2016

Para la época de interés en cada uno de los años de análisis, la presencia de focos prácticamente en todos los años (tabla 3) en concordancia con la caída de la actividad fotosintética de la cobertura vegetal (figura 7), permiten inferir la posible ocurrencia anual de incendios.

CONCLUSIONES

El evento analizado resultó de muy corta duración, severidad media y gran extensión, presentando una recuperación rápida debida a: el tipo de cobertura afectada (pastizales naturales abiertos); la temporada en la que se produjo el evento (inicio de primavera) y a las condiciones de humedad del área. A través del análisis del patrón de recurrencia de estos eventos entre 2000 y 2014, se

podría inferir que los mismos corresponden a disturbios naturales para estos ambientes de pastizales y bañado.

El presente trabajo ha demostrado la eficacia de la metodología de análisis propuesta, basada en datos provenientes de

teledetección, procesados mediante un SIG. La misma se ha visto especialmente exigida por el caso de estudio elegido que ofrece características particularmente “estresantes” debido a la corta duración del evento y a la rápida recuperación post-evento del funcionamiento de la cobertura.

BIBLIOGRAFÍA

Administración de Parques Nacionales. (2015). *Incendio de pastizales en el Parque Nacional Río Pilcomayo* (2015/09). Recuperado de <https://www.parquesnacionales.gob.ar/2015/09/incendio-depastizales-en-el-parque-nacional-rio-pilcomayo>

Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A. (1995). A review of vegetation indices. *Remote sensing reviews*, 13(1-2), 95-120.

Chuvieco, E., Martin, M. P., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103-5110.

Chuvieco, E., Opazo, S., Sione, W., Valle, H. D., Anaya, J., Bella, C. D., ... & Libonati, R. (2008). Global burned land estimation in Latin America using MODIS composite data. *Ecological Applications*, 18(1), 64-79.

De Santis, A., y Vaughan, P. (2009). Revisión de las técnicas de identificación cartográfica de áreas quemadas. *Recursos rurais: revista oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural (IBADER)*, (5), 93-100.

Díaz-Delgado, R., Lloret, F., & Pons, X. (2003). Influence of fire severity on plant regeneration by means of remote sensing imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(8), 1751-1763.

Di Bella, C. M., Fischer, M.A., y Mari, N. A. (2008). Teledetección satelital y fuego en áreas naturales. *Sitio Argentino De Producción Animal*, 1-8.

Di Bella, C. M., Posse, G., Beget, M. E., Fischer, M. D. L. A., Mari, N., & Veron, S. (2008). La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. *Ecosistemas*, 17(3).

Di Bella, C. M., y Posse, G. (2014). Estudio y seguimiento de los incendios. *Percepción remota y sistemas de información geográfica. Sus aplicaciones en Agronomía y Ciencias Ambientales. JM Paruelo, CM Di Bella y M. Milkovic (eds.). Editorial Hemisferio Sur.*

Guyot, G., Baret, F., & Jacquemoud, S. (1992). *Imaging spectroscopy for vegetation studies* (Vol. 2, pp. 145-165). Kluwer Academic Publishers: Norwell, MA, USA.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales - Brasil. (2023). *Programa Queimadas*. Recuperado de: terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/#exportar-datos

-
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape assessment (LA). *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system*, 164, LA-1.
- Lee, B. S., Alexander, M. E., Hawkes, B. C., Lynham, T. J., Stocks, B. J., & Englefield, P. (2002). Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada. *Computers and Electronics in Agriculture*, 37(1-3), 185-198.
- Lentile, L. B., Holden, Z. A., Smith, A. M., Falkowski, M. J., Hudak, A. T., Morgan, P., ... & Benson, N. C. (2006). Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire*, 15(3), 319-345.
- Mari, N., Di Bella, C., Fischer, M. D. L. A., y Ferrer, F. (2007). Respuesta espectral de la vegetación quemada para distintos ecosistemas de la Argentina. In *XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Mar del Plata, Argentina*.
- Paruelo, J. M. (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas*, 17(3).
- Pickett, S. T., Wu, J., & Cadenasso, M. L. (1999). Patch dynamics and the ecology of disturbed ground: a framework for synthesis. *Ecosystems of the World*, 707-722.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ*, 351(1), 309.
- Salinero, CE (2003). *Estimación y cartografía del peligro de incendios forestales: el papel de los datos de teledetección* (Vol. 4). Científico mundial.
- White, J. D., Ryan, K. C., Key, C. C., & Running, S. W. (1996). Remote sensing of forest fire severity and vegetation recovery. *International Journal of Wildland Fire*, 6(3), 125-136.