

Estudio de la severidad del incendio de 2012 y regeneración de la vegetación del Bosque La Primavera, México, mediante imágenes LANDSAT 7

Study of the severity by the fire of 2012 and regeneration of vegetation in La Primavera Forest, Mexico, using LANDSAT 7 images

Alejandro Ramón López García*

Recibido 20 de septiembre de 2019; aceptado 30 de enero 2020

Resumen

El incendio de abril de 2012 en el Bosque La Primavera, es considerado como el más extenso e intenso del que se tiene registro en las estadísticas del bosque. Este registro, se ha incorporado a un Sistema de Información Geográfica (SIG), información generada a través de técnicas de percepción remota a partir de imágenes multiespectrales del sensor ETM+ de LANDSAT 7, para realizar la cartografía y el análisis de la severidad del incendio y regeneración de la vegetación afectada. Se realizó la delimitación del incendio a través del índice espectral NBR, así como la severidad del mismo mediante el dNBR, resultando que la mayoría de la superficie afectada corresponde a la severidad BAJA y MEDIA que contabilizó 88% de la superficie dañada. Los valores de NDVI permitieron estimar el estado fenológico de la vegetación que sirvió para estimar el tiempo de regeneración de la misma, siendo este de tres años, en donde matorrales y especies arbustivas fueron afectadas en su gran mayoría, tratándose de un incendio de tipo superficial.

Palabras clave: *LANDSAT 7, severidad de incendio, NBR, NDVI, regeneración de la vegetación.*

* Universidad de Guadalajara, México, correo electrónico: alejandrorg@yahoo.com.mx.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5314-3879>.

Abstract

The fire of April 2012 in the Bosque La Primavera is considered to be the most extensive and intense that is registered inside the statistics of the forest. It has been generated information through remote sensing techniques from multi-spectral images belonging to the ETM+ sensor of LANDSAT 7 which was incorporated into a GIS, to perform the mapping and analysis of the severity and regeneration time of the affected vegetation. The delimitation of the fire was carried out through the NBR spectral index, as well as its severity by means of the dNBR, obtaining that the majority of the surface of the damage corresponds to LOW and MEDIUM severity that accounted 88% of the affected area. The NDVI values allowed to estimate the phenological state of the vegetation in the area of the fire with which served later to estimate the regeneration time as well, resulting this three years, where thickets and other shrubs species were mostly damaged, being a superficial fire type.

Key words: *LANDSAT 7, fire severity, NBR, NDVI, vegetation regeneration.*

Introducción

Los incendios forestales generan deterioro de recursos naturales, además de pérdidas económicas y vidas humanas a nivel mundial. En México, ésta problemática es muy similar y recurrente año tras año, que de acuerdo a condiciones climáticas y meteorológicas hacen que estos se presenten en diversas magnitudes. Entre las causas principales atribuidas a los incendios forestales se encuentran en gran medida las actividades humanas y en menor proporción los fenómenos naturales como las erupciones volcánicas y descargas eléctricas (Ressl y Cruz, 2012). Pueden presentar un beneficio al ecosistema mediante la conservación de la biodiversidad, contribuyendo a la selección de especies, composición de las formaciones vegetales y a su estabilidad o alternancia (Agee, 1993).

La identificación de los daños causados al ecosistema en términos de biomasa quemada resulta un elemento de importancia en el proceso de regeneración de las áreas afectadas. La severidad de un incendio se relaciona directamente con la intensidad y la duración del fuego, cuyos grados determinan la posterior regeneración de la vegetación (De Santis y Chuvieco, 2008).

La determinación de los diferentes grados de severidad que un incendio forestal afecta a un determinado territorio representa una herramienta de gran relevancia para autoridades que les competen la conservación y restauración ante una situación posincendio. La toma de decisiones en este sentido puede verse facilitada si se cuenta con cartografía con rangos de severidad fiables (Botella-Martínez y Fernández-Manzo, 2017).

El Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (APFFLP), es un espacio boscoso constantemente amenazado en el cual se han presentado diversos incendios, que debido a su área de afectación e intensidad resultan críticos en términos de preservación: tal es el caso de los incendios ocurridos en 1984, 1987, 1995, 1998, 2005, 2012 y 2018; destacando por sus efectos el presentando en 2012 con casi 8 000 hectáreas devastadas (Huerta-Martínez e Ibarra-Montoya, 2014). El incendio se inició a las 11:45 horas del sábado 21 de abril y se prolongó por tres días más, siendo la causa un incendio intencional de un basurero aledaño ubicado en la colonia Arenales Tapatíos, lo que provocó aire contaminado, la reducción de actividades al aire libre, así como la suspensión de labores escolares en toda el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), requiriendo la cooperación y esfuerzo conjunto de cientos de brigadistas, bomberos locales y de otros estados, además de elementos de la Secretaría de la Defensa Nacional.

Para poder cartografiar, analizar y dar seguimiento a estos desastres, se ha recurrido al uso de la percepción remota o teledetección, que permite una observación sistemática de una amplia área de la superficie terrestre en bandas o regiones del espectro electromagnético que son sensibles a la señal de áreas quemadas (Chuvieco, 2002). Las imágenes de satélite son una opción muy apropiada para estudiar el impacto del fuego sobre la vegetación, siendo relevantes para conocer la severidad del incendio y la dinámica postincendio de los bosques (Navarro *et al.*, 2008; Rodríguez, 2012).

Algunos trabajos se han centrado en los métodos de análisis de severidad, evaluando la regeneración postincendio de la vegetación mediante el uso de índices espectrales. El índice de vegetación de diferencia normalizada, mejor conocido como NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), ha sido utilizado mayormente con imágenes multiespectrales de la familia de satélites LANDSAT y de sus diferentes sensores como el MSS (*Multispectral Scanner*), TM (*Thematic Mapper*) y ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) (White *et al.*, 1996; Pérez y De La Riva, 1998; Díaz-Delgado *et al.*, 2003) y OLI/TIRS (*Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor*) (Navazo *et al.*, 2016).

Otros trabajos utilizando algunos de los sensores ya mencionados, han implementado el cociente normalizado de área quemada, denominado NBR (*Normalized Burnt Ratio*) (Key & Benson, 1999; Parks *et al.*, 2014; Botella-Martínez y Fernández-Manzo, 2017). Los valores del NBR obtenidos antes y después del fuego se conoce comúnmente como el delta NBR (dNBR) y pretende realzar los píxeles sobre la imagen de áreas quemadas y no quemadas, generando un índice del grado de cambio, y por tal, la severidad del daño (Key & Benson, 2005).

Este trabajo tiene como objetivos: 1) delimitar y cuantificar el área afectada por el incendio de abril de 2012 en el APFFLP; 2) establecer el grado de afectación del

incendio; y 3) dar seguimiento a la evolución regenerativa de la vegetación afectada y estimar el tiempo que conlleva.

Área de estudio

El área de estudio fue declarada Área Natural Protegida en 1980, y en el año 2000 fue declarada Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera. Comúnmente conocida como el Bosque La Primavera, está localizada en el occidente de México, en la parte central del estado de Jalisco y al oeste de la AMG con una extensión de 30 050 hectáreas y con una altitud de 1 364 a 2 276 msnm. Su territorio está conformado por los municipios de El Arenal (1.1%), Tala (25%), Tlajomulco de Zuñiga (15.8%) y Zapopan (58.1%) (Figura 1).

El tipo de vegetación existente es bosque encino, encino-pino, pino y tropical caducifolio (Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial —SEMADET, 2019), con especies como *Quercus castanea*, *Q. laeta*, *Q. Obtusata*, *Pinus oocarpa*, *P. devoniana*, *P. lumholtzii*, *Clethra rosei*, *Agarista mexicana*, *Ficus petiolaris*, *F. glaucescens* lo que lo hace un espacio ecológicamente muy diverso e importante para su estudio y conservación. El régimen de lluvias es de verano, con una media anual de 900 mm y con temperatura media anual de 20° C.

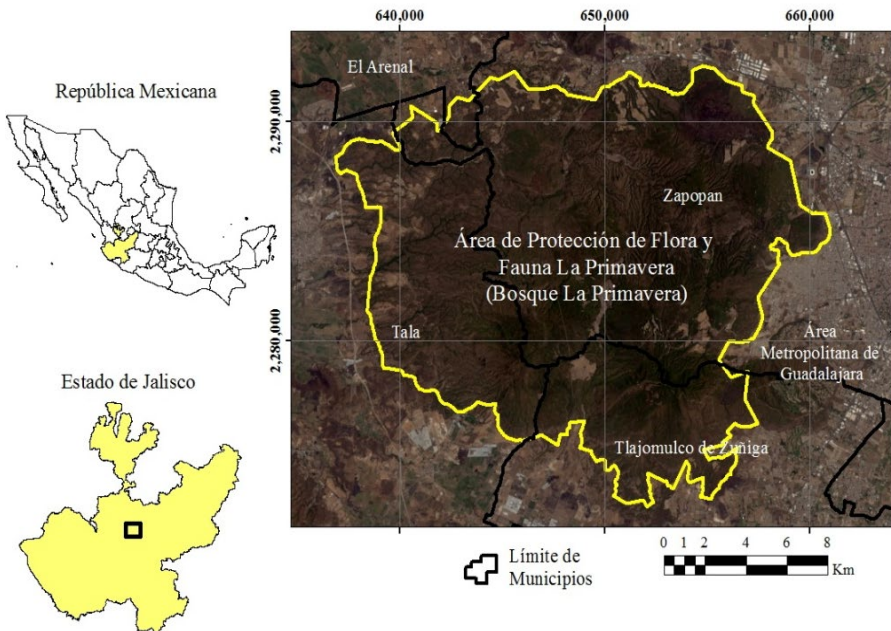


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.

Se trata de un área forestal contigua al AMG, la cual ha servido a su población como atractivo natural para el esparcimiento, conocimiento y la vivienda; pero desafortunadamente es blanco de amenazas y presiones constantes por parte de intereses de inversionistas y gobiernos, entre las que destacan la construcción de caminos y carreteras, infraestructura turística de alto impacto, expansión de frontera agrícola, impactos por producción de energía y desarrollos urbanos; lo que genera impactos negativos al medio, siendo los incendios uno de las más recurrentes consecuencias y amenazas.

Metodología

El proceso metodológico para este trabajo se articula en los siguientes bloques:

- Selección y descarga de imágenes LANDSAT 7
- Construcción del SIG (Sistema de Información Geográfica)
- Cuantificación y detección del área incendiada
- Clasificación de la severidad del incendio y regeneración de la vegetación.

Selección y descarga de imágenes LANDSAT 7

Consiste en la búsqueda y descarga de las imágenes desde el sitio web <https://search.earthdata.nasa.gov>, de las cuales, la primera debe corresponder a la situación previa más cercana al incendio (anterior al 21 de abril de 2012); la segunda, al día posterior más cercana al incendio (después del 24 de abril de 2012); y de la tercera en adelante, una para cada año a partir 2013 y cercana al 21 de abril, con la finalidad de encontrar las condiciones fenológicas similares antes del incendio, y así analizar su evolución y estimar el tiempo de regeneración. Se cuidó el criterio de nula nubosidad en cada imagen para evitar pérdida de información.

Construcción del SIG

Este bloque consiste en integrar los datos espaciales y aplicar diversas herramientas de geoproceto a través del uso del *software ArcGIS 10.5*, que incluye información derivada de cada una de las imágenes satelitales seleccionadas y de cartografía del área de estudio. Un aspecto a destacar es la aplicación de la herramienta *Fix Landsat 7 Scanline Errors* de la caja de herramientas del *Landsat Toolbox*, con la cual se subsana el problema de las líneas de escaneo, que es una falla característica del sensor ETM+ a bordo del satélite LANDSAT 7.

Delimitación y cuantificación del área incendiada

Una vez obtenida la imagen inmediata posterior al incendio y hecho el recorte (*clip*) al área de estudio, se identificará el área quemada mediante la aplicación de los índices espectrales NBR y el dNBR. Una vez identificada, se delimitará con el trazo del perímetro, con el cual se estimará la superficie afectada.

Clasificación de la severidad del incendio y regeneración de la vegetación

Con la imagen anterior y posterior al incendio, se realiza una sustracción entre ambas imágenes para encontrar la pérdida de masa forestal, así como el grado de intensidad de la afectación. El área regenerada es monitoreada en las imágenes de los años posteriores al incendio mediante la aplicación del NDVI, hasta que el estado de la vegetación sea igual o mayor a los estimados antes de la ocurrencia del incendio.

Discusión de resultados

Se seleccionaron y descargaron cinco imágenes LANDSAT 7 (*path 29 y row 46*) procurando que fueran libres de nubes para el área de estudio, algunas de sus características se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1
Características de cada una de las imágenes empleadas

<i>Imagen (ID)</i>	<i>Fecha de toma</i>	<i>Hora de toma</i>	<i>Condición al incendio</i>
LE02904632012103ASN00	12 de abril de 2012	17:11:12	Previa
LE02904632012135ASN00	14 de mayo de 2012	17:12:29	Posterior
LE02904632013057ASN00	26 de febrero de 2013	17:14:17	Posterior
LE02904632014092ASN00	02 de abril de 2014	17:15:08	Posterior
LE02904632015111ASN00	21 de abril de 2015	17:16:25	Posterior

Fuente: Elaboración propia con base a la metadata de cada imagen.

De las imágenes descargadas se describen cada una de las ocho bandas con las características espaciales y espectrales propias del sensor ETM+ a bordo de la misión LANDSAT 7 y que son mostradas en la Tabla 2. Cabe mencionar que las imágenes se presentan atmosférica y radiométricamente listas para su uso, por lo que no hay necesidad de correcciones adicionales.

Tabla 2
Características espaciales y espectrales de cada banda de las imágenes LANDSAT 7

<i>Banda</i>	<i>Resolución espacial (m)</i>	<i>Resolución espectral (μm)</i>	<i>Región del espectro</i>
1	30	0.45-0.52	VIS (azúl (B))
2	30	0.53-0.60	VIS (verde (G))
3	30	0.63-0.69	VIS (rojo (R))
4	30	0.76-0.90	NIR (infrarrojo cercano)
5	30	1.55-1.75	SWIR1 (infrarrojo medio)
6	120	10.4-12.5	TIR (infrarrojo termal)
7	30	2.08-2.35	SWIR2 (infrarrojo medio)
8	15	0.52-0.90	Pancromático (PAN)

Fuente: Elaboración propia con base en:
http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html

Corrección de las imágenes por líneas de escaneo

El satélite LANDSAT 7 ha proveído información continua de la superficie terrestre desde su lanzamiento en julio de 1999, pero en la actualidad presenta un problema debido a una falla en el instrumento que corrige las líneas de escaneo llamado SLC

Figura 2. Imagen con *gaps* (izquierda); imagen corregida para su uso (derecha).

(*Scan Line Corrector*), dando como resultado que las escenas adquiridas posterior al 14 de julio de 2003 contengan franjas de datos inválidos llamados *gaps*. Para remediar lo anterior y poder utilizar las imágenes adecuadamente y sin errores, se ha aplicado la herramienta de geoproceso *Fix Landsat 7 Scanline Errors* que realiza una interpolación espacial tomando los píxeles válidos cercanos a los *gaps*, logrando así la corrección (relleno) para cada imagen y cuyos resultados se muestran en la Figura 2.

Características del incendio

El incendio de 2012 fue uno de los más devastadores en los últimos años por la dimensión de sus efectos. Para poder localizarlo y dimensionar el área de afectación se utiliza el índice espectral NBR propuesto por Hunt & Rock en 1989, mostrado en la ecuación 1:

$$NBR = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}} \quad (1)$$

en donde ρ_{NIR} representa la reflectividad en la región del infrarrojo cercano (banda 4), y ρ_{SWIR} la reflectividad en el infrarrojo medio de onda corta (banda 7). Este

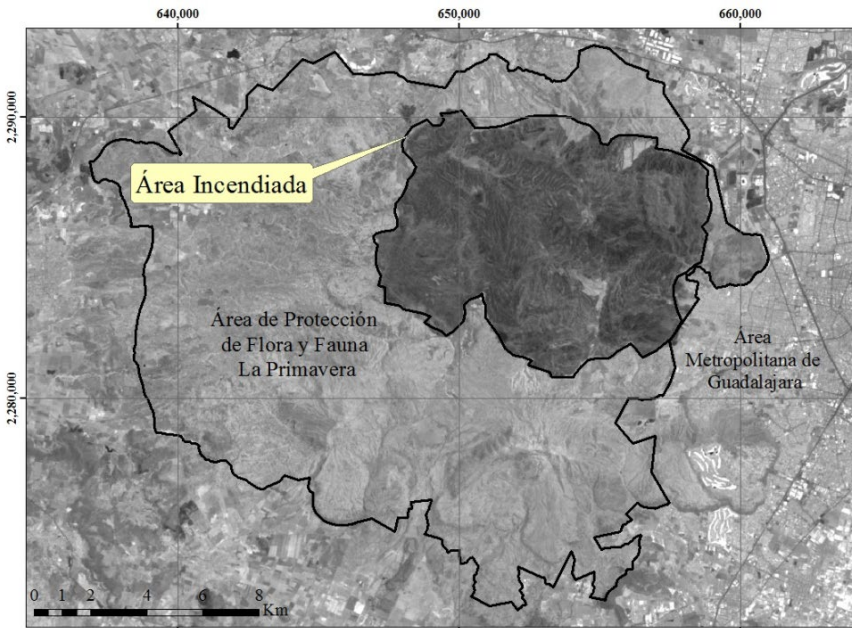


Figura 3. Imagen del área afectada correspondiente al día 14 de mayo de 2012.

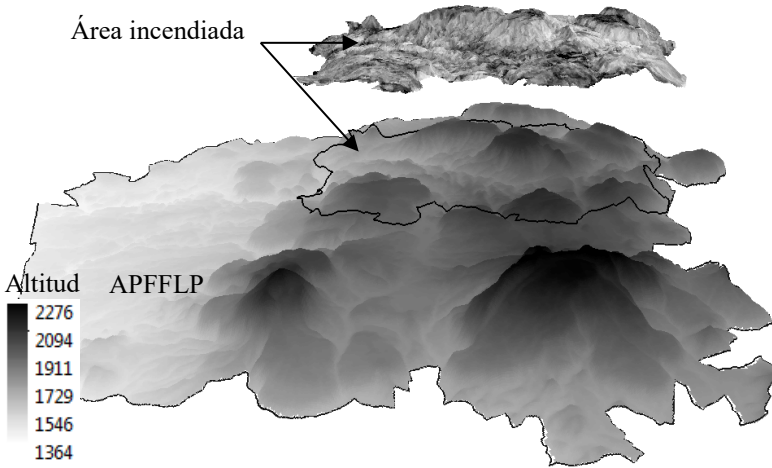


Figura 4. Imagen 3D del APFFLP y del área incendiada.

índice espectral es ideal para identificar áreas quemadas en imágenes LANDSAT (Chuvieco *et al.*, 2008). Se basa en el contraste entre el NIR que es sensible al contenido de humedad en el suelo y en la vegetación, y el SWIR, que es sensible en detectar vegetación muerta o quemada (no fotosintética) (Kokaly *et al.*, 2007; Tanase *et al.*, 2011). Los resultados después de aplicar el NBR muestran un área incendiada de 8 162 hectáreas lo que representa un 26.6% del ANPFFLP (Figuras 3 y 4). Cabe mencionar que ésta imagen representa la condición más reciente al incendio.

Severidad del incendio

Para analizar la severidad del incendio es necesario estimar la diferencia de los píxeles entre la imagen previa y posterior al desastre. Estas imágenes corresponden al 12 de abril y 14 de mayo de 2012 respectivamente, a las cuales se aplica el índice espectral NBR (ecuación 1) y posteriormente el dNBR que es mostrado a continuación en la ecuación 2:

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post} \quad (2)$$

donde NBR_{pre} corresponde a la imagen previa del área incendiada y NBR_{post} representa la situación posterior al incendio. El rango de valores de severidad fue fijado por el proyecto FIREMAN (*Fire Effects Monitoring and Inventory System*) (Lutes *et al.*, 2006), el cual fue considerado para este estudio y es mostrado en la Tabla 3:

Tabla 3
Valores de severidad para incendios forestales

<i>Nivel</i>	<i>Rango de dNBR</i>
ALTA	< -0.5
MEDIA	-0.5 a -0.25
BAJA	-0.25 a -0.1
NULA	> -0.1

Fuente: Elaboración propia con base a proyecto FIREMAN.

En la Figura 5 se puede apreciar que ciertas unidades orográficas dentro del polígono del incendio resultaron con daño variado y disperso, es decir, unas áreas fueron mayormente afectadas que otras. La severidad ALTA ocurrió en la parte alta y ladera oriente de Cerritos Colorados, ladera norte del Cerro Chapulín y Cerro Alto; severidad MEDIA y BAJA en Cerro El Tule, Cerro Pedernal, Cerro El Chapulín, Cerro El Culebreado y Mesa Najahuete, así como una extensa área sin denominación hacia el poniente; y solo severidad NULA en Mesa Taponá, en áreas bajas dedicadas a la agricultura y en los márgenes de ríos.

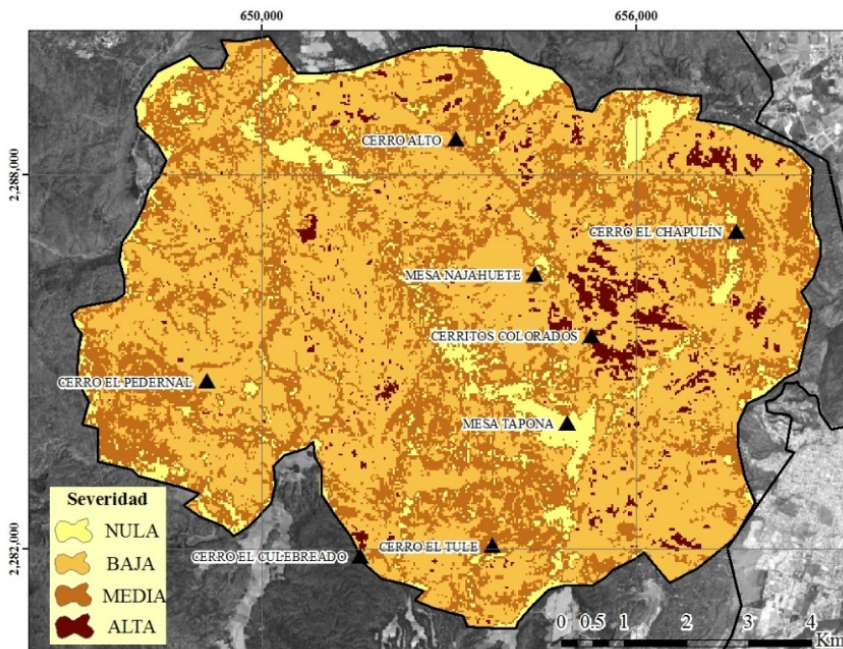


Figura 5. Valores de severidad del incendio y unidades orográficas afectadas.

Para poder comprender la dimensión de la severidad del incendio, se muestra la Figura 6 que presenta la cuantificación del evento, en donde las áreas de BAJA severidad representan la mayor superficie (55%), seguidas las de MEDIA (33%), después la de ALTA con 9%, y la NULA con 4%. Cabe mencionar que en México, los incendios forestales dañan en general entre el 70 y 90% de pastizales y arbustos. Los pastizales se recuperan totalmente en la siguiente temporada de lluvias, mientras que los arbustos lo hacen desde unas semanas hasta en un par de años. Para árboles que han sido consumidos por el fuego la regeneración tarda de 15 a 50 años, según el grado de daño, la especie y otros factores (Comisión Nacional Forestal —CONAFOR, 2010).

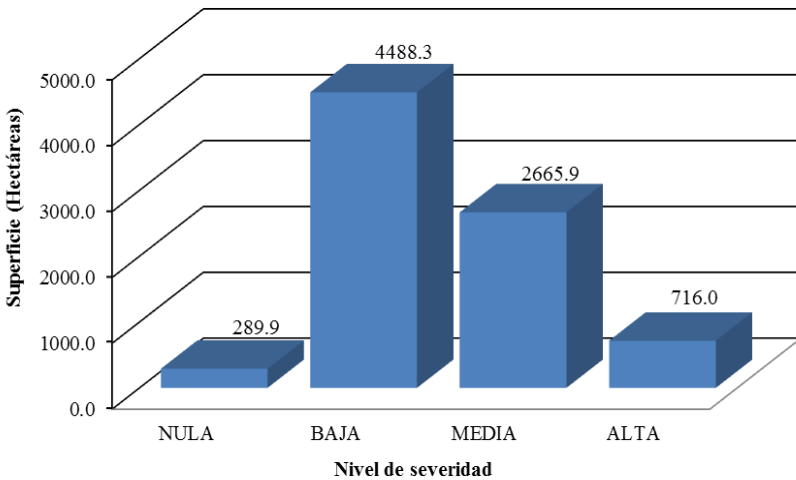


Figura 6. Cuantificación de la severidad de las áreas afectadas.

Regeneración de la vegetación

Cuando la vegetación experimenta tensión hídrica debido a la baja disponibilidad de agua o es quemada, su comportamiento espectral varía significativamente (Pérez y De la Riva, 1998). El NDVI discrimina cubiertas de suelo con diferente comportamiento espectral en las regiones del VIS (visible) y del NIR. Produce un notable contraste espectral, permitiendo discriminar otras cubiertas con relativa claridad para solo considerar las cubiertas con vegetación permitiendo la estimación de la actividad fotosintética. El método más empleado para el cálculo del NDVI fue descrito por Rouse *et al.* en 1973, el cual se expresa en la ecuación 3:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (3)$$

donde ρ_{NIR} es la reflectividad en la porción del infrarrojo cercano (banda 4), y ρ_R la reflectividad en el rojo en la porción del VIS (banda 3). La Figura 7, muestra la evolución del evento, en donde la primera imagen (izquierda superior) muestra la condición previa al incendio (12 de abril), la siguiente es cuando este ya ocurrió (14 de mayo).

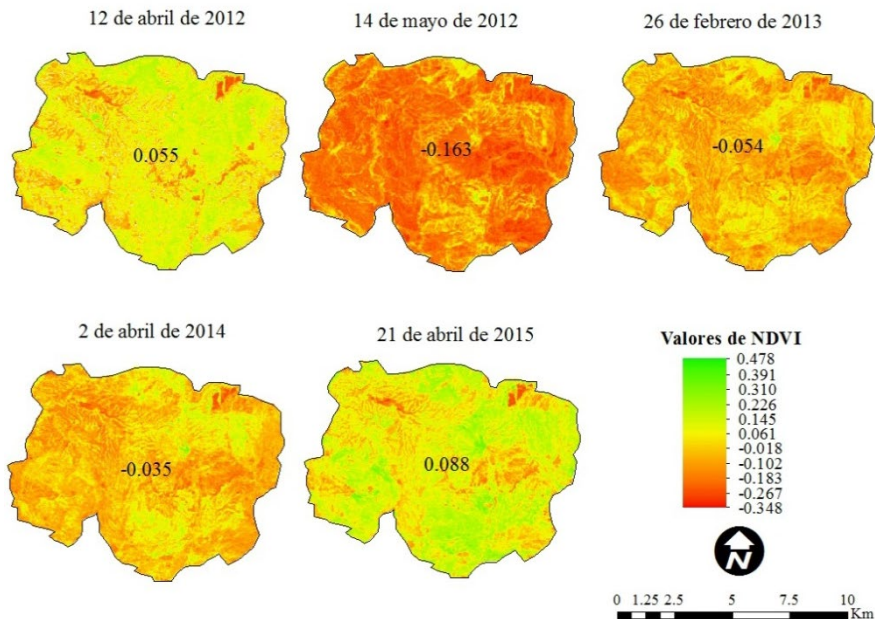


Figura 7. Evolución de la regeneración de la vegetación a través del NDVI para diferentes fechas.

Después de la imagen previa y posterior, se muestra la evolución del estado de la vegetación para 2013, 2014 y 2015, procurando que sea lo más cercano a la fecha del evento para guardar homogeneidad fenológica. Se encuentra que el año 2015 presenta las condiciones promedio del estado de la vegetación tal como existían antes del incendio e incluso son ligeramente mejoradas.

Se puede apreciar que después del incendio, le ha tomado tres años a la vegetación en recuperar su estado normal, considerando como promedio el total del área incendiada. Cabe señalar que la época a que corresponden las imágenes (febrero-mayo) corresponde al estiaje y la vegetación no alcanza sus máximos niveles de NDVI, sino hasta la época de lluvias (junio-agosto) que ocurre en un par de meses después. De

Santis y Chuvieco en 2007 afirman que este índice ha sido uno de los más efectivos, dada la fuerte relación entre la severidad del fuego y la cantidad de vegetación quemada.

En los resultados anteriores se ha estimado la cantidad de biomasa verde a través del NDVI, sin tomar en cuenta las especies que forman la comunidad estableciendo un buen instrumento para cuantificar el recubrimiento vegetal que según su actividad fotosintética y de acuerdo con Duncan *et al.*, 1993 se puede agrupar en las siguientes clases:

Tabla 4
Clasificación fotosintética en base al NDVI

<i>Actividad fotosintética</i>	<i>Rango</i>
NULA	< 0
MUY BAJA	0 a 0.1
BAJA	0.1 a 0.2
MEDIA	0.2 a 0.3
MEDIA-ALTA	0.3 a 0.4
ALTA	0.4 a 0.6
MUY ALTA	> 0.6

Fuente: Elaboración propia con base en Duncan *et al.*, 1993.

La imagen previa al incendio se considera como el estado normal de la vegetación en su actividad fotosintética y las tres posteriores son consideradas alteraciones debidas al incendio. En base en la Tabla 4, la imagen previa corresponde a la clasificación MUY BAJA; la correspondiente al incendio NULA (la más baja) y los dos siguientes años corresponden también a NULA; para 2015 se recupera a MUY BAJA, que es tal y como se encontraba antes del incendio. En esta época del año (primavera) el APFFLP se encuentra en su estado de máximo estrés hídrico y por ende de máximo riesgo a incendios.

Conclusiones

La creación del SIG incorporó información cartográfica y la derivada de técnicas de percepción remota fue imprescindible para la realización de este trabajo. La resolución espacial y temporal ofrecida por el sensor ETM+ de LANDSAT 7 para el estudio de incendios forestales resultó ser la adecuada. El índice multiespectral NBR permitió localizar y cuantificar el área afectada por el incendio de 2012 en el ANPPLP contabilizando un área de 8 162 hectáreas. La mayor afectación (ALTA) se localizó en la ladera oriente de Cerritos Colorados.

Dominaron las áreas de BAJA y MEDIA severidad (88%) lo que sugiere que fueron quemados en su mayoría especies arbustivas y pastizales (sotobosque) de rápida regeneración. Las áreas de ALTA y NULA severidad ocuparon una proporción menor (12%), donde la primera categoría representa afectación de especies arbóreas, y en la segunda espacios previamente desprovistos de vegetación o que quedaron fuera del alcance de las llamas. La identificación espacial de áreas de mayor severidad podría ayudar a implementar eficazmente acciones de reforestación por medio de la delimitación de un polígono de restricción, lo que implicaría vigilancia constante.

La rápida regeneración de la vegetación (tres años) en que fueron inalteradas especies arbóreas en su gran mayoría, describe la importancia del potencial auto regenerativo del ecosistema que es ayudado sin duda del factor climatológico. Afortunadamente las especies que constituyen mayor tiempo de regeneración quedan fuera de un daño mayor. Se debe aclarar que en primavera es cuando han ocurrido los incendios en el APFFLP debido al bajo estado fenológico de la vegetación siendo la vegetación muerta a nivel de suelo un combustible detonante de inicio y propagación del fuego.

Esta metodología puede contribuir a cuantificar la dimensión e intensidad de los incendios forestales que se presentan en el APFFLP y que año tras año lo hacen en distintas regiones de México y otros países, permitiendo priorizar áreas para enfocar acciones de recuperación sobre espacios mayormente afectados y poder evaluar el potencial autoregenerativo de la vegetación quemada en vías de su conservación.

Bibliografía

- Agee J.K. (1993). *Fire ecology of Pacific northwest forests*, Island Press, Washington, DC, USA, pp. 490.
- Botella-Martínez M.A. y Fernández-Manzo A. (2017). “Estudio de la severidad post-incendio en la comunidad valenciana comparando los índices dNBR, RdNBR y RBR a partir de imágenes Landsat 8”, *Revista de Teledetección*, 49: 33-47. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7095>.
- Chuvieco E. (2002). *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*, Ciencia Editores, Barcelona, España, pp. 586.
- Chuvieco E., Englefield P., Trishchenko A. & Luo Y. (2008). “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.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) (2010). “Incendios forestales. Guía práctica para comunicadores”, 3a. edición. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>

- De Santis A. y Chuvieco E. (2007). "Burn severity estimation from remotely sensed data: performance of simulation versus empirical models", *Remote Sensing of Environment*, 108: 422-435. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.11.022>.
- (2008). "Análisis comparativo de sensores espaciales para la cartografía de la severidad en el incendio de Riba de Saelices (Guadalajara)", *Revista de Teledetección*, 29: 25-37, Universidad de Alcalá. Recuperado de <http://www.aet.org.es/?q=revista29-3>.
- 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. <https://doi.org/10.1080/01431160210144732>.
- Duncan J., Stow D., Franklin J. & Hope J. (1993). "Assessing the relationship between spectral vegetation indices and shrub cover in the Jornada Basin, New Mexico", *International Journal of Remote Sensing*, 14: 3395-3416. <https://doi.org/10.1080/01431169308904454>
- Huerta-Martínez F.M. e Ibarra-Montoya J.L. (2014). "Incendios en el Bosque de La Primavera (Jalisco-México): un acercamiento a sus posibles causas y consecuencias", *Ciencia UAT*, 9(1): 23-32. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582014000100023&lng=es&tlng=es
- Hunt E. & Rock B. (1989). "Detection of changes in leaf water content using near and middleinfrared reflectances", *Remote Sensing of Environment*, 30: 43-54. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90046-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1).
- Key C. & Benson N. (1999). "The normalized burn ratio, a Landsat TM (Thematic Mapper) radiometric index of burn severity incorporating multitemporal differencing". Recuperado de <http://nrmssc.usgs.gov/research/nbr.htm>.
- (2002). *Remote sensing measure of severity, the normalized burn ratio. Fire effects monitoring and inventory protocol, landscape assessment*. Recuperado de: <http://www.fire.org/firemon/lc.htm>.
- Kokaly, R.F., Rockwell B., Haire S.L. & King T.V. (2007). "Characterization of postfire surface cover, soils, and burn severity at the Cerro Grande Fire, New Mexico, using hyperspectral and multispectral remote sensing", *Remote Sensing of Environment*, 106: 305-325. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.08.006>.
- Navarro R.M., Hayas A., García-Ferrer A., Hernández R., Duhalde P. y González L. (2008). "Caracterización de la situación en el área afectada por el incendio de Torres del Paine (Chile) a partir de imágenes multispectrales", *Revista Chilena de Historia Natural*, 81: 95-110.
- Navazo G., Nieto A., Moreno G. (2016). "Análisis de incendios forestales mediante sistemas de información geográfica y teledetección. Estudio de caso en Sierra de Gata (2015)", *Tecnologías de la información Geográfica en el análisis espacial*, 1: 247-268.

- Parks S., Dillon G., Miller, C. (2014). "A New Metric for Quantifying Burn Severity: The Relativized Burn Ratio", *Remote Sensing*, 6(3): 1827-1844.
- Pérez F. y De La Riva J. (1998). "El empleo de imágenes Landsat TM para detección y cartografía de áreas incendiadas en el Pirineo Occidental Oscense", *Geographica*, 36: 131-145.
- Ressl, R. y Cruz, I. (2012). "Detección y monitoreo de incendios forestales mediante imágenes de satélite", *Biodiversitas*, 100: 12-13, CONABIO.
- Rodríguez A. (2012). "Cartografía multitemporal de quemas e incendios forestales en Bolivia: Detección y validación posincendio", *Ecología en Bolivia*, 47(1): 53-71.
- Rouse J., Haas R., Schell J., y Deering D. (1973). "Monitoring vegetation system in the great plains with ETRS", *Third ERST Symposium*, NASA, 309-317.
- Tanase M., De La Riva J. & Pérez-Cabello F. (2011). "Estimating burn severity at the regional level using optically based indexes", *Canadian Journal of Forest Research*, 47: 863-872.
- SEMADET (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial) (2019) "Bosque La Primavera": tipo de vegetación". Recuperado de <https://semadet.jalisco.gob.mx/medio-ambiente/biodiversidad/areas-naturales-protégidas/130>
- 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: 125-136.