

CARTOGRAFÍA DE LA SEVERIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES (2017, 2018, 2019) EN EL ESTADO DE GUANAJUATO EMPLEANDO IMÁGENES SENTINEL-2

Salazar Salazar, Devora Nayelli (1), Farfán Gutiérrez, Michelle (2), Arellano Reyes, M. Agustín (3)

1 [Licenciatura en Ingeniería Geomática, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [dn.salazarsalazar@ugto.mx]

2 [Dpto. Ingeniería Geomática e Hidráulica, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [michelle.farfan@ugto.mx]

3 [Aplicaciones Geoespaciales, SADER Michoacán] | Dirección de correo electrónico: [agustin.arellano.r@hotmail.com]

Resumen

La información espacial sobre la superficie quemada, cartografía de áreas quemadas, es un insumo fundamental para la toma de decisiones en relación con la prevención, manejo de incendios y restauración de áreas incendiadas. El objetivo de este trabajo fue la generación de la cartografía de la severidad de las áreas quemadas escala 1:50000 mediante el empleo de imágenes del satélite SENTINEL para los años 2017, 2018 y 2019 en el estado de Guanajuato. La superficie quemada forestal se estimó de acuerdo a tres clases de afectación del incendio las cuales son: moderada baja, moderada alta, alta. En el año 2017 se estimaron 8460 hectáreas totales, para 2018 un total de 19 589 hectáreas y para 2019 la superficie fue de 52 713 hectáreas. La clase de afectación predominante en los tres periodos fue moderada baja.

Abstract

The spatial information on the burned surface, cartography of burned areas, is a fundamental input for decision-making regarding the prevention, management of fires and restoration of burned areas. The objective of this work was the generation of the mapping of the severity of the burned areas scale 1: 50,000 by using images of the SENTINEL satellite for the year 2017, 2018 and 2019. The forest burned area was estimated according to three classes of affectation of the fire which are: moderate low, moderate high, high. In 2017, 8460 hectares were estimated, for 2018 a total of 19,589 hectares and for 2019 the area was 52,713 hectares. The predominant type of involvement in the three periods was moderate low.

Introducción

Los incendios forestales aumentan los niveles de dióxido de carbono contribuyendo al efecto invernadero y al calentamiento global por lo que representan un problema ambiental prioritario [1]. Por más de dos décadas se han utilizado técnicas de percepción remota e imágenes de satélite para identificar áreas quemadas, cuyos principios se basan en la respuesta espectral de los depósitos de ceniza y carbón, derivados de la combustión del material vegetal [2]. Los estudios realizados en México se han hecho principalmente mediante el empleo de imágenes del sensor MODIS para el sureste del país. Sin embargo, la resolución espacial de dicho satélite de 500 metros en las bandas 3 a 7 y de un kilómetro de la 8 a 36, no permite la detección detallada de los patrones espaciales de las áreas quemadas. En contraparte el sensor Sentinel-2 cuenta con una resolución espacial de 10, 20 y 60 metros. Sentinel-2 es una constelación de dos satélites gemelos: Sentinel-2A lanzado a orbita el 23 de junio del 2015 y Sentinel-2B lanzado el 7 de marzo del 2017, construidos para el programa de monitoreo ambiental Copernicus de la Agencia Espacial Europea. Dada la resolución espacial y temporal de cinco días de dichos satélites, son una fuente ideal para el monitoreo de áreas quemadas forestales. Por tanto, el objetivo del presente trabajo consistió en desarrollar un método sencillo y eficaz para la generación de la cartografía de áreas quemadas empleando imágenes de resolución espacial de 20 metros del sensor Sentinel-2 tanto previas como posteriores al incendio, mediante el cálculo del índice espectral de Quema Normalizado, Normalized Burn Ratio (NBR) en inglés [3], para el monitoreo no sólo del área quemada sino también del impacto del incendio en la cubierta forestal del estado de Guanajuato para los años 2017, 2018 y 2019.

Área de Estudio

El trabajo se realizó dentro de los límites del Estado de Guanajuato: localizado en la Mesa Central y al sur de la Altiplanicie Mexicana. Sus coordenadas extremas son: 21° 52' y 19° 55' latitud Norte, 99° 41' y 102° 09' longitud Oeste (IMAGEN 1). Cuenta con una superficie de 30.607 km², representando el 1.6% de la superficie del país. Limita al norte con los Estados de Zacatecas y San Luis Potosí, al sur con el Estado de Michoacán, al este con el Estado de Queréta-

ro y al oeste con el Estado de Jalisco.

En la actualidad más de la mitad del territorio del Estado está ocupado por zonas agropecuarias, urbanas e industriales, lo cual ha traído como consecuencia que diversos tipos de vegetación se hayan visto fuertemente afectados como el mezquital y el matorral micrófilo. De acuerdo con la cartografía de vegetación y uso del suelo de la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento

Territorial (SMAOT) del año 2014, escala 1:50000 la

vegetación forestal del estado representa el 37% en donde

los tipos de vegetación forestal más abundantes son el Bosque de Encino con un 20%, seguido del matorral

subtropical con un 16%. Mientras que el uso de suelo agropecuario es predominante con un 56% del total del estado.

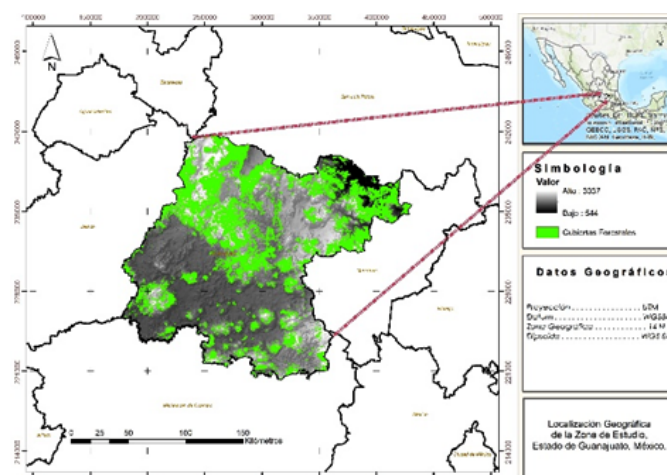


IMAGEN 1: Zona de estudio

Materiales y métodos

Para la obtención de los insumos satelitales, se utilizó la plataforma de Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu>). En este estudio fueron necesarias las imágenes del satélite Sentinel-2B en el nivel-1C para 2018 y 2019, y de Sentinel-2A para 2017. Para cubrir el Estado de Guanajuato fueron necesarias 8 escenas de aproximadamente 100km x 100km. Se empleó la banda 12 (infrarrojo de onda corta, con 20 m de resolución espacial) y la banda 8 (infrarrojo cercano, con una resolución espacial de 10 m). Se utilizaron 8 escenas del día 10 de enero y 8 escenas del día 20 de mayo para el año 2019, 8 escenas del día 20 de enero y 8 escenas

del día 30 de mayo para el año 2018, 8 escenas del día 14 de febrero y 8 escenas del día 14 de junio para el año 2019: obteniendo un total de 48 escenas para el estudio realizado.

Para la preparación de las imágenes satelitales fue necesaria la corrección radiométrica. Esta se llevó a cabo empleando el complemento de QGIS llamado “Semi-Automatic Classification Plugin”. La corrección radiométrica implica la corrección atmosférica. Es importante realizarla debido a las variaciones estacionales o la presencia de aerosoles en la atmósfera que provocan que los valores de reflectividad del píxel sean ligeramente alterados.

Para determinar el grado de calcinación de las áreas que sufrieron un incendio en el área de estudio (cicatrices de incendio), se calculó el Índice Normalizado de Áreas Quemadas (Normalized Burn Ratio, NBR, por sus siglas en inglés), que usa las bandas de infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta: bandas 8 y 12, respectivamente (ecuación 1).

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

Ecuación 1

El cálculo para Sentinel-2 se obtiene de la siguiente manera:

$$NBR = \left(\frac{Banda\ 8 - Banda\ 12}{Banda\ 8 + Banda\ 12} \right)$$

Donde:

ρ_{IRC} = reflectividad del píxel i en la región del infrarrojo cercano.

ρ_{SWIR} = reflectividad del píxel i en la región del infrarrojo medio de onda corta.

El cálculo se basa en el contraste entre el infrarrojo cercano (ρ_{IRC} , 0.766-0.899 μm) sensible al agua en el suelo y la vegetación y el infrarrojo de onda corta (ρ_{SWIR} , 2.066-2.304 μm) sensible a la vegetación no fotosintética en un entorno post-incendio [4] [5].

La superficie quemada forestal se estimó de acuerdo con tres clases de afectación del incendio las cuales son: moderada baja, moderada alta, alta.

Dichas clases se establecieron a través de la ecuación 2 en donde se define la diferencia del índice espectral NBR.

$$dNBR = (NBR_{pre} - NBR_{post})$$

Ecuación 2

Una vez obtenida la diferencia de índice espectral NBR, se realizó una clasificación según categorías y rangos indicados en la Tabla 1. Se calcularon las categorías de severidad, se generó la cartografía en formato vectorial a una escala 1:50000 con un área mínima cartografiable de 4 hectáreas.

ΔNBR	Gravedad de quemadura
>0.66	Alta
0.44 a 0.66	Moderada alta
0.27 a 0.44	Moderada baja

TABLA 1. Relación entre el índice ΔNBR y las categorías de severidad del incendio forestal [6].

Resultados y discusión

En el año 2017 se estimaron 8460 hectáreas totales correspondientes a incendios forestales en el estado de Guanajuato para el periodo de enero a mayo, la clase de afectación predominante fue moderada baja con un total de 6724 hectáreas (IMAGEN 2). Los municipios más afectados fueron Valle de Santiago, Yuriria, San Felipe, Moroleón, Pénjamo y Salamanca (Tabla 2). En el Reporte de Resultados de Incendios Forestales 2017 de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) se reportan un total de 5099 hectáreas [7], lo cual equivale al 60% con respecto a la superficie determinada.

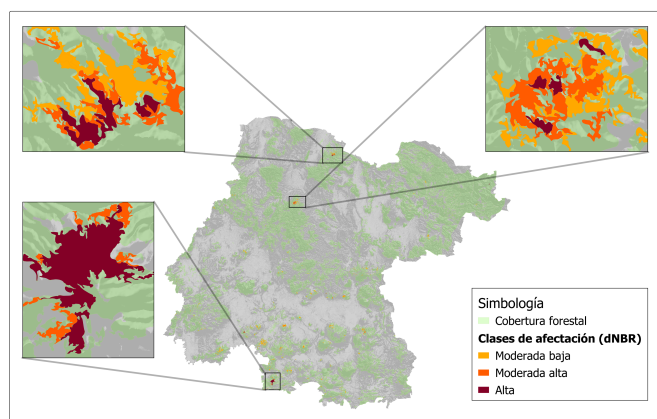


IMAGEN 2: Cartografía de superficie quemada por clases de afectación para el periodo enero-mayo 2017.

Superficie afectada (ha)	Municipio
1347	Valle de Santiago
1167	Yuriria
615	San Felipe
615	Moroleón
608	Pénjamo
549	Salamanca

TABLA 2. Municipios más afectados por quema forestal en el periodo enero-mayo 2017.

En el año 2018 se estimaron 4769 hectáreas totales correspondientes a incendios forestales en el estado de Guanajuato para el periodo de enero a mayo, la clase de afectación predominante fue moderada baja con un total de 3700 hectáreas (IMAGEN 3). Los municipios más afectados fueron Acámbaro, San Felipe, Silao, Valle de Santiago, Guanajuato y Salvatierra (Tabla 3). En el Reporte de Resultados de Incendios Forestales 2018 de la CONAFOR se reportan un total de 3426 hectáreas, lo cual equivale al 71% con respecto a la superficie determinada.

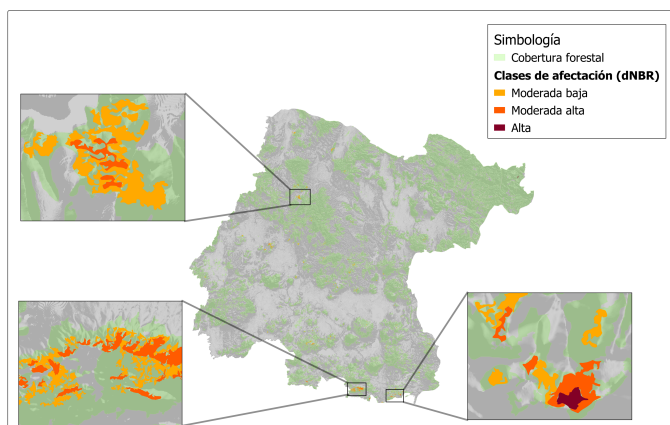


IMAGEN 3: Cartografía de superficie quemada por clases de afectación para el periodo enero-mayo 2018.

Superficie afectada (ha)	Municipio
1611	Acámbaro
1580	San Felipe
979	Silao
556	Valle de Santiago
295	Guanajuato
269	Salvatierra

TABLA 3. Municipios más afectados por quema forestal en el periodo enero-mayo 2018.

En el año 2019 se estimaron 52,713 hectáreas totales correspondientes a incendios forestales en el estado de Guanajuato para el periodo de febrero a junio, la clase de afectación predominante fue moderada baja con un total de 51,374 hectáreas (IMAGEN 4). Los municipios más afectados fueron San Felipe, Victoria, San Luis de la Paz, Tierra Blanca, Atarjea y Guanajuato. En el Reporte de Resultados de Incendios Forestales 2019 de la CONAFOR se reportan un total de 19,194 hectáreas, lo cual equivale al 36% con respecto a la superficie determinada.

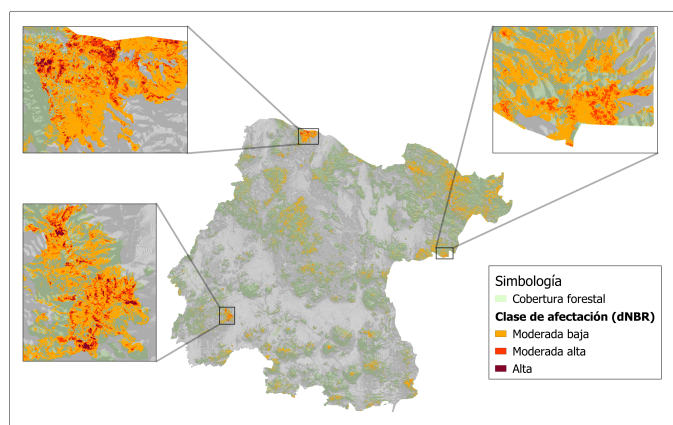


IMAGEN 4: Cartografía de superficie quemada por clases de afectación para el periodo febrero-junio 2019.

Superficie afectada (ha)	Municipio
9896	San Felipe
3269	Victoria
3122	San Luis de la Paz
2988	Tierra Blanca
2295	Atarjea
1925	Guanajuato

TABLA 4. Municipios más afectados por quema forestal en el periodo febrero-junio 2019.

Los resultados anteriores indican que existe una importante omisión de incendios forestales que ocurren en el estado pero que no son reportados o cubiertos por la CONAFOR. En la imagen 5 podemos ver la comparativa entre dichas superficies de quema. Mientras que en la imagen 6 se muestra de manera grafica las hectáreas de quema según la clase de afectación del incendio por año.

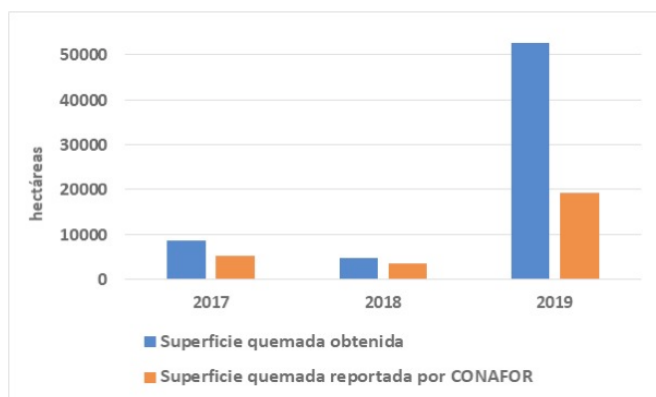


IMAGEN 5. Comparativa de superficie afectada obtenida y la reportada por la CONAFOR.

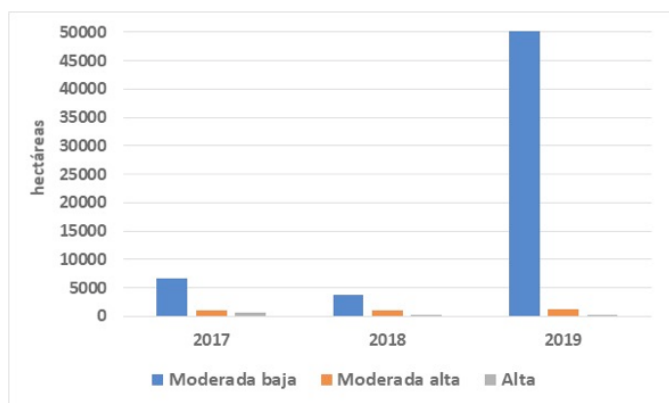


IMAGEN 6. Hectáreas quemadas según clase de afectación para cada periodo.

Conclusiones

Las escenas del sensor SENTINEL 2 son un insumo que ofrece importantes ventajas para el monitoreo de las áreas quemadas, dada su resolución temporal y espacial. Las superficies quemadas fueron obtenidas con un nivel de detalle que permite la delimitación cartográfica con mayor precisión en comparación con otros sensores como MODIS. Se han hecho otros estudios empleando imágenes del sensor SENTINEL 2 para el monitoreo de áreas quemadas forestales para la Reserva La Calera en Córdoba Argentina [8], así como en el municipio de Moguer, España [9][10]. Por otra parte, en México no existen hasta ahora estudios publicados por lo que el presente estudio es pionero en su aplicación.

El año 2019 presentó una importante superficie de incendios forestales a comparación de las estimaciones realizadas para los años 2017 y 2018. Este aumento de superficie puede deberse a una combinación de factores tanto antrópicos (no apagar fogatas en su totalidad, desechar colillas de cigarro en cubierta vegetal, quema de esquilmos) como climáticos. En particular, el año 2019 se caracterizó por presentar las condiciones climáticas propiciadas por el fenómeno del Niño que reduce la precipitación, hay un aumento de la temperatura y una menor humedad en la atmósfera para la parte centro del país [11]. Estas son condiciones favorables para que una vez que exista una fuente de ignición, dada la condición de sequía de la vegetación ocurra un incendio forestal.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad de Guanajuato dentro de los Veranos de la Ciencia por dar paso a la elaboración y desarrollo de este proyecto.

Referencias

- [1] Rowell, A. y Moore, P.F. 2000. Global review of forest fires. WWF – The World Wide Fund / IUCN– The World Conservation Union.
- [2] Manzo Delgado, L., López García, J. (2013): "Detección de áreas quemadas en el sureste de México, utilizando índices pre y post-incendio NBR y BAI, derivados de compuestos MODIS", n° 13-2, p. 66-83. ISSN: 1578- 5157.
- [3] Laclaustra A., Martínez S., Quintero E., Piñeros W., Chuvieco E. 2003. Comparación de distintas técnicas para la cartografía de áreas

quemadas con imágenes LANDSAT ETM+. Revista internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, 3, 216-234.

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

[5] Kokaly, R.F., B.W. Rockwell, S.L. Haire, and T.V.V. King. 2007. Characterization of post-fire 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.

[6] Key, C. H., Benson, N. C. 1999. Measuring and remote sensing of burn severity. In Proceedings Joint Fire Science Conference and Workshop, II, 15-17.

[7] Sistema Nacional de Información y Gestión Forestal. 2018. Reporte semanal de incendios, México, <https://snigf.cnf.gob.mx/incendios/> (accessed 1 julio,2019)

[8] Melchiori, E., Mari, N. 2018. Generación de mapas de áreas quemadas a partir de imágenes Landsat 8 OLI y Sentinel-2 MSI, p. 12-22. ISSN: 2525- 0949.

[9] Educación Forestal. 2017. Índice de Calcinación Normalizada (NBR), León, España,<http://almazcara.forestry.es/2017/07/indice-de-calcinacion-normalizada-nbr.html> (accessed 1 julio 2019).

[10] Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. 2017. Índice NBR del incendio de Moguer-Doñana. Madrid, España, http://www.inta.es/opencms/export/sites/default/INTA/es/-blogs/copernicus/BlogEntry_1500630790681/# (accessed 1 julio 2019)

[11] Gaceta UNAM, junio, 2019 <http://www.gaceta.unam.mx/calor-menos-lluvias-y-sequias-por-el-nino/>