Automatización de la delimitación de conglomerados de puntos de calor para México

Automation of the delimitation of active fire clusters for Mexico

Marco Antonio Hernández Perez[1*], Daniel José Vega-Nieva[1], Jaime Briseño Reyes[1]

[1] *Universidad Juárez del Estado de Durango-Facultad de Ciencias Forestales, Durango, México.*
[*] *Autor por correspondencia; mahp73@gmail.com*

Resumen:

La detección remota por satélite proporciona información de manera inmediata sobre el análisis de incendios forestales y la evaluación posterior al incendio, incluida la estimación del perímetro y el área quemada afectada por incendio forestal. El objetivo de este estudio es presentar un algoritmo de interpolado automático en código abierto a través de diferentes librerías de Python (PyQgis), con la finalidad de que delimite los conglomerados de puntos de calor MODIS y VIIRS detectados en las diferentes regiones de México en tiempo real. Los conglomerados de áreas quemadas obtenidos de los puntos de Calor de Modis y VIIRS, se analizaron frente al producto de área quemada Colección 6 de MODIS. Se definieron los parámetros óptimos de agregación con el algoritmo alpha, para la predicción de área quemada a nivel de perímetro individual y área total mensual. Los perímetros de los conglomerados podrán ser consultados a través de un sitio web, a cualquier persona interesada de diferentes organizaciones de las UMAFORES, a los tres niveles de Gobiernos, Prestadores de Servicios Técnicos Forestales, ONG's, entre otros. Una ventaja de las herramientas desarrolladas es el uso de software libre en código abierto, lo que incrementa su aplicabilidad.

Palabras clave: Incendios Forestales, Puntos de Calor, Automatización Conglomerados, Polígonos, Python, software libre.

Abstract:

Satellite remote sensing provides immediate information on wildfire analysis and post-fire assessment, including estimating the perimeter and burned area affected by wildfire. The objective of this study is to present an open source automatic interpolation algorithm through different Python libraries (PyQgis), in order to delimit the perimeter of the clusters of MODIS and VIIRS active fires detected in the different regions of Mexico in real time. The clusters of burned areas obtained from the MODIS and VIIRS active fires were analyzed against the MODIS Collection 6 burned area product. The optimum interpolation parameters of the alpha algorithm to predict individual burned area and total monthly burned area were analyzed. Interpolated perimeters may be consulted through a website, to any interested person from different organizations of the UMAFORES, at the three levels of Governments, Forest Technical Service Providers, NGOs, among others. An advantage of the developed tools is the use of free open source software, which increases their applicability.

Keywords: Forest Fires, Active fires, Cluster Automation, Polygons, Python, free software.

Introducción

El fuego tiene un papel importante en los procesos naturales, en este sentido, afecta la composición del gas en la atmósfera, el clima, los biomas y los accidentes geográficos. Las estadísticas nacionales que se muestran en la Figura 1, muestran el registro de número de incendios y las superficies que se han afectado por la presencia de estos siniestros en un periodo de 10 años (CONAFOR 2020).

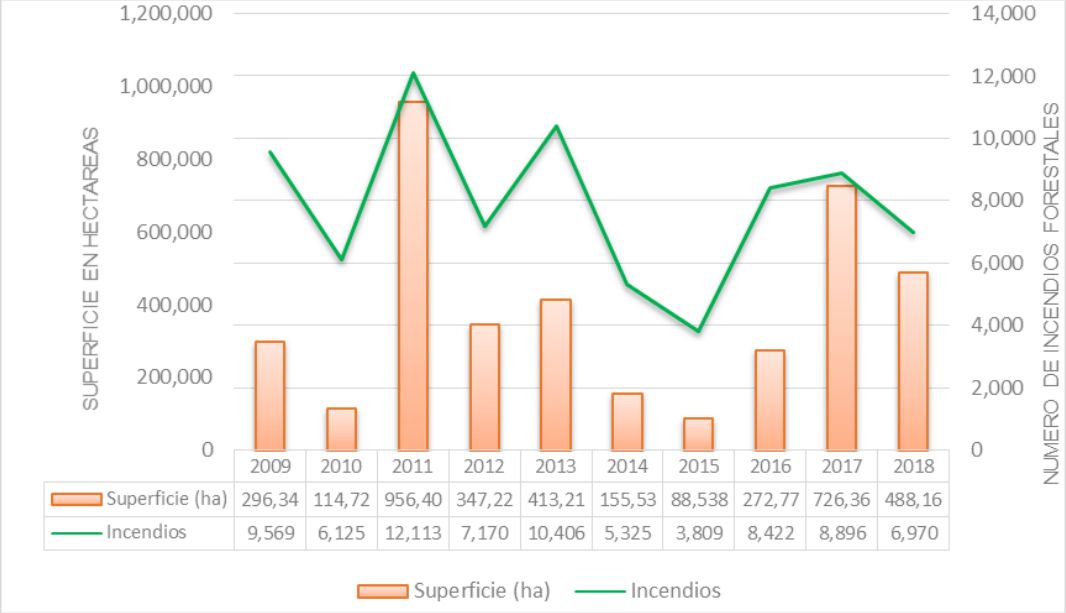


Figura 1. Registro histórico de número de incendios y superficie afectada por incendios forestales del periodo 2009-2018. Fuente: CONAFOR, 2020.

El uso de datos que proporcionan los satélites en la prevención y evaluación de los incendios forestales se ha desarrollado notablemente en las últimas décadas (Chuvieco *et al*. 2019). Existe una necesidad de mapear el área quemada en tiempo casi real, siendo tarea susceptibles ser realizada automáticamente a partir de la interpolación de puntos de calor, ofreciendo información actualizada con cada pase del satélite libre de sesgo de operadores manuales, ahorrando tiempo de los tomadores de decisiones, permitiendo centrar su análisis en la interpretación y toma de decisiones en base al número de conglomerados observados, su presencia en áreas forestales y la priorización de las decisiones de combate (Artés et al. 2017; Briones-Herrera et al. 2020).

Algunos estudios han demostrado que los grupos de puntos de calor interpolados automáticamente son útiles para visualizar el progreso aproximado del perímetro del fuego e incluso calibrar el modelo de propagación del fuego, y son muy útiles para monitorear y rastrear su progreso y la planificación del combate (Loboda y Csiszar 2007; Henderson et al., 2010; Thorsteinsson et al. 2011; Kasischke and Hoy, 2011; Veraverbeke et al. 2014).

Se requiere calibrar y analizar los algoritmos de interpolación de puntos de calor para los tipos de vegetación mexicana basados en el histórico de los puntos de calor, a fin de determinar rápidamente el perímetro de grandes incendios basado en los puntos de calor VIIRS y MODIS en México. En concreto, no existe ningún estudio que haya analizado la interpolación de puntos de calor para mapear perímetros de conglomerado de puntos de calor mediante el algoritmo Alpha shape (Chiaraviglio et al., 2016, Artés et al., 2017) en herramientas de software libre.

En el siguiente trabajo, se desarrolló un algoritmo para agregar los puntos de calor VIIRS y MODIS empleando la técnica Alpha shape para mapear el área quemada a partir de los puntos de calor VIIRS y MODIS en México en el periodo 2018-2020. Las herramientas desarrolladas brindarán apoyo para el monitoreo y la planificación estratégica del manejo de incendios de México.

Materiales y Métodos

El área de estudio

Limita al norte con los Estados Unidos de América a lo largo de una frontera de 3,155 km, mientras que al sur tiene una frontera de 958 km con Guatemala y 276 km con Belice, las costas del país limitan al oeste con el océano Pacífico y al este con el golfo de México y el mar Caribe, sumando 9,330 km, por lo que es el tercer país americano con mayor longitud en sus costas, se muestra en la Figura 2 (INEGI 2014). Los análisis estadísticos y algebra de mapas se llevó a cabo en el laboratorio de geomática de la Facultad de Ciencias Forestales.

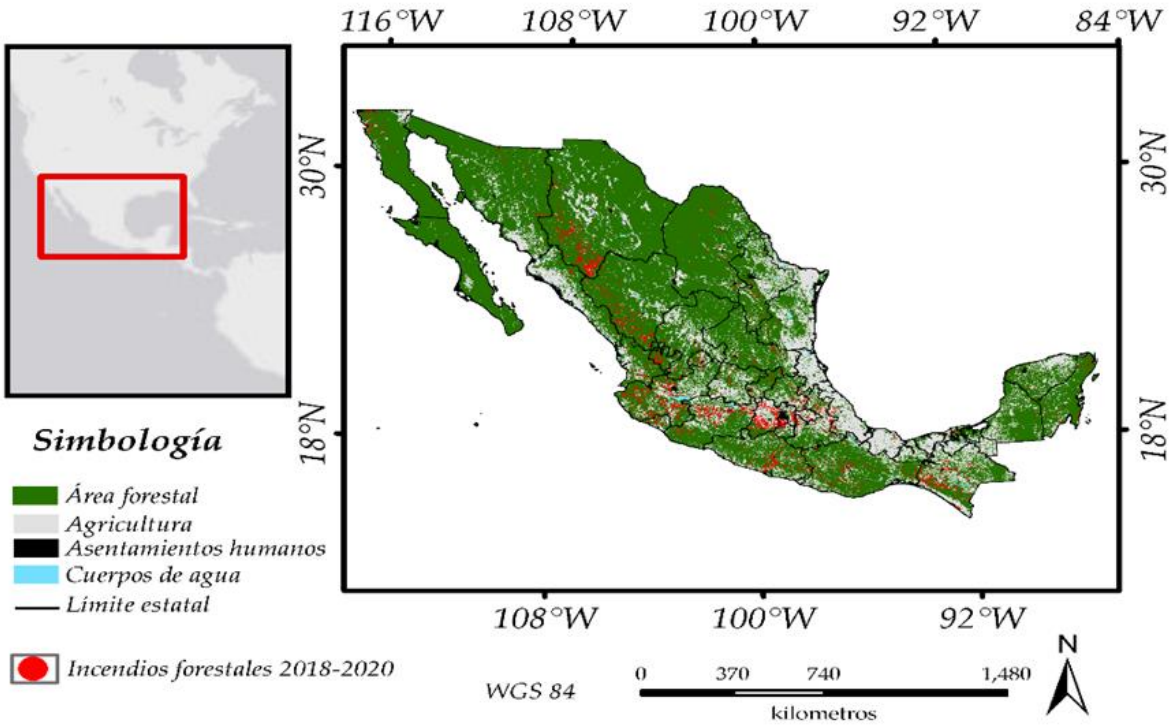


Figura 2. Mapa de localización del área forestal de México, considerando el mapa de Uso de Suelo Serie VI (2014), 1:250,000, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014). Áreas forestales y no forestales se muestran en verde y blanco, respectivamente; asentamientos humanos en negro y los cuerpos de agua en azul, respectivamente, de acuerdo con INEGI Mapa de Uso de Suelo VI (2014), (1:250,000). Detecciones de incendios forestales (2018–2020) que representan la supresión de incendios efectuada por el gobierno de México, a través de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) durante el periodo de estudio.

El periodo de estudio comprendió desde el año 2018 hasta el año 2020, el área de estudio fue el territorio mexicano que tiene una superficie de 1’964,375 km², por lo que es el decimotercer país más extenso del mundo y el tercero más grande de América Latina (INEGI 2014). La Superficie forestal de México es de 138 millones de hectáreas (ha), equivalentes al 70% del territorio nacional. En acuerdo con el Programa de Manejo del Fuego en México los principales ecosistemas forestales son matorrales xerófilos (41.2%), los bosques templados (24.2%), las selvas (22.8%) y otros tipos de asociaciones de vegetación forestal (11.8%) (CONAFOR 2020).

Puntos de calor VIIRS y MODIS y área quemada MODIS C6 (MCD64A1)

Los datos de los Satélites de MODIS y VIIRS se descargaron del servidor de Información sobre Incendios para el Sistema de Gestión de Recursos (por sus siglas en inglés, FIRMS, (https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/download/create.php). Los perímetros mensuales del área quemada del período de estudio se descargaron del servidor FTP de la Universidad de Maryland (http://modisfire.umd.edu/files/MODIS_C6_BA_User_Guide_1.2.pdf). Los puntos de calor se encuentran disponibles casi en tiempo real y a menudo se usan como una aproximación para estimar el área quemada (Giglio *et al*. 2018).

Los perímetros del área quemada correspondieron al área quemada MODIS C6 (MCD64A1, Colección 6 MODIS Producto de Área Quemada) a una resolución espacial de 500 m (Giglio *et al.* 2018). Estos datos se encuentran disponibles mensualmente.

Predicción de área quemada a partir de conglomerados Alpha shape de puntos de calor VIIRS y MODIS.

La predicción de los perímetros de conglomerados de puntos de calor se realizó a través de la agregación del conjunto de puntos de calor VIIRS y MODIS. Esta técnica se llevó mediante el algoritmo Alpha Shape. El concepto de Alpha Shape es un enfoque para formalizar la noción intuitiva del polígono dentro de los conjuntos de puntos espaciales. La Alpha Shape es un concepto geométrico concreto matemáticamente bien definido mediante la generalización del convex hull y un subgráfico de la triangulación de Delaunay. Dado que los conjuntos de puntos finitos, se puede derivar una familia de formas a partir de la triangulación de Delaunay del conjunto de puntos.
Se analizaron los valores de alpha 0.0008, 0.001 y 0.002 para delimitar los perímetros, donde los valores más altos corresponden con perímetros más convexos, y valores más bajos con perímetros más cóncavos.

Se analizaron los siguientes modelos (Briones-Herrera et al., 2020) para predecir el área quemada mensual MODIS C6 (MCD64A1) a partir del perímetro agregado de los puntos de calor para los valores de Alpha analizados, usando la siguiente Ecuación (1):

$$BA = a \cdot x \qquad (1)$$

Donde:
BA: representa el área quemada (ha) MODIS C6 MCD64A1
a: el parámetro del modelo
x: perímetro agregado de puntos de calor (ha)

Los modelos se analizaron a dos niveles: (1) área quemada del perímetro del incendio individual; (2) suma mensual total del área quemada. Los modelos para predecir el área quemada (Ecuación 1) se ajustaron con regresiones lineales (LM) empleando el paquete “lm” del software R (R Core Team, 2017 Viena, Austria).

Los modelos se evaluaron utilizando el coeficiente de determinación de regresión lineal (R^2) como criterio estadístico, junto con el error cuadrático medio (RMSE) y el sesgo del modelo (Bias). El R^2 se definió como el coeficiente de correlación cuadrado entre los valores medidos y estimados y el error cuadrático medio (RMSE) (Ryan 1997).

Automatización del mapeo del área quemada MODIS C6 (MCD64A1) partir de conglomerados Alpha shape de puntos de calor VIIRS y MODIS

El desarrollo de conglomerados de puntos de calor a partir del sensor de MODIS, así como los fuegos activos detectados a través del sensor de VIIRS en México sobre todo en las áreas forestales, durante el periodo 2018 al 2020, se llevó a cabo mediante los programas de cómputo de PyCharm 2019.3.1 (JetBrains 2017) y Qgis 3.16. Con estas aplicaciones informáticas se puede realizar el delimitado de los conglomerados de calor de manera automática en Python los cuales pueden ser visualizados en los sistemas de información geográfica.

Resultados y discusión

Resultados de la predicción de área quemada a partir de conglomerados Alpha shape.

Se muestran los coeficientes y bondad de ajuste de los modelos por año a nivel individual, así como a nivel suma mensual total, en el Cuadro 1. Los valores más altos de R^2 se obtuvieron para Alpha 0.001 y 0.008, generalmente con valores de aproximadamente 0.7, para los 3 años analizados. El valor más bajo de error cuadrático medio se obtuvo para el Alpha de 0.008 en los tres años analizados. Para este valor de Alpha se obtuvo el coeficiente *a* más cercano a 1 (aproximadamente de 0.9 a 0.7, según el año) para los 3 años analizados, por tanto, mostrando predicciones más cercanas a los perímetros observados de MODIS C6, lo anterior se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Coeficientes y estadísticos de ajuste para predecir el área quemada por Alpha Shape en el periodo 2018-2020. Donde: Alpha corresponde al parámetro Alpha analizado; *a* es el coeficiente del modelo (Eq. 1); R^2: coeficiente de determinación de regresión lineal ; RMSE: error cuadrático medio; Bias: sesgo del modelo.

Coeficiente		Estadísticos de ajuste		
Alpha	***a***	**R^2**	**RMSE (ha)**	**Bias (ha)**
NIVEL INDIVIDUAL DE INCENDIO				
2018				
0.002	0.196691 ±0.007846	0.31	5328	275
0.001	0.8405 ±0.0135	0.70	1126	-7
0.0008	0.92015 ±0.01443	0.71	1060	37
2019				
0.002	0.147529 ±0.003105	0.55	12427	296
0.001	0.652524 ±0.007295	0.76	1257	37
0.0008	0.8135 ±0.0103	0.71	1086	35
2020				
0.002	0.131641 ±0.003131	0.58	22906	169
0.001	0.515369 ±0.008379	0.67	1806	44
0.0008	0.6939 ±0.0115	0.64	1197	55
SUMA MENSUAL TOTAL (2018-2020)				
0.002	0.180433±0.008242	0.94	54430	19458
0.001	0.58415±0.01863	0.97	38440	12881
0.0008	0.77995±0.02104	0.98	33990	10458

A nivel de suma mensual total, el mejor ajuste se obtuvo para el Alpha de 0.008, con un R^2 de 0.98 y el valor más reducido de error cuadrático medio y sesgo (Cuadro 1). La evolución temporal del área total

quemada mensual C6 observada y pronosticada durante los años 2018, 2019 y 2020 para Alpha 0.008, se muestra en la Figura 3. Se observa un buen acuerdo para predecir el área total mensual.

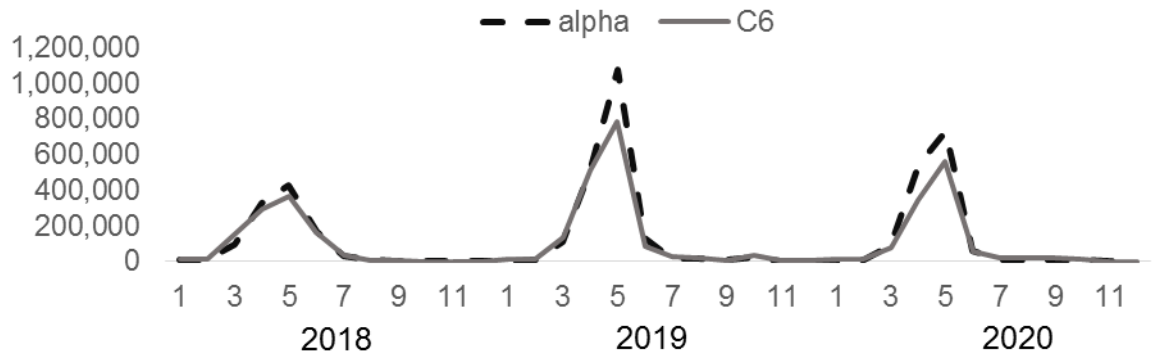


Figura 3. Evolución mensual de 2018 a 2020 del área total quemada MODIS C6 MCD64A1 (C6) área de la agregación de puntos de calor VIIRS y MODIS Alpha 0.008 (Alpha). Los datos se muestran en hectáreas. La línea negra punteada representa el área Alpha 0.008 y la línea continua gris el área MODIS C6 MCD64A1.

Los valores predichos frente a observados de los modelos para predecir el área quemada MODIS C6 MCD64A1 a nivel individual desde la agregación de puntos de calor VIIRS y MODIS anuales se muestran en la figura 4.

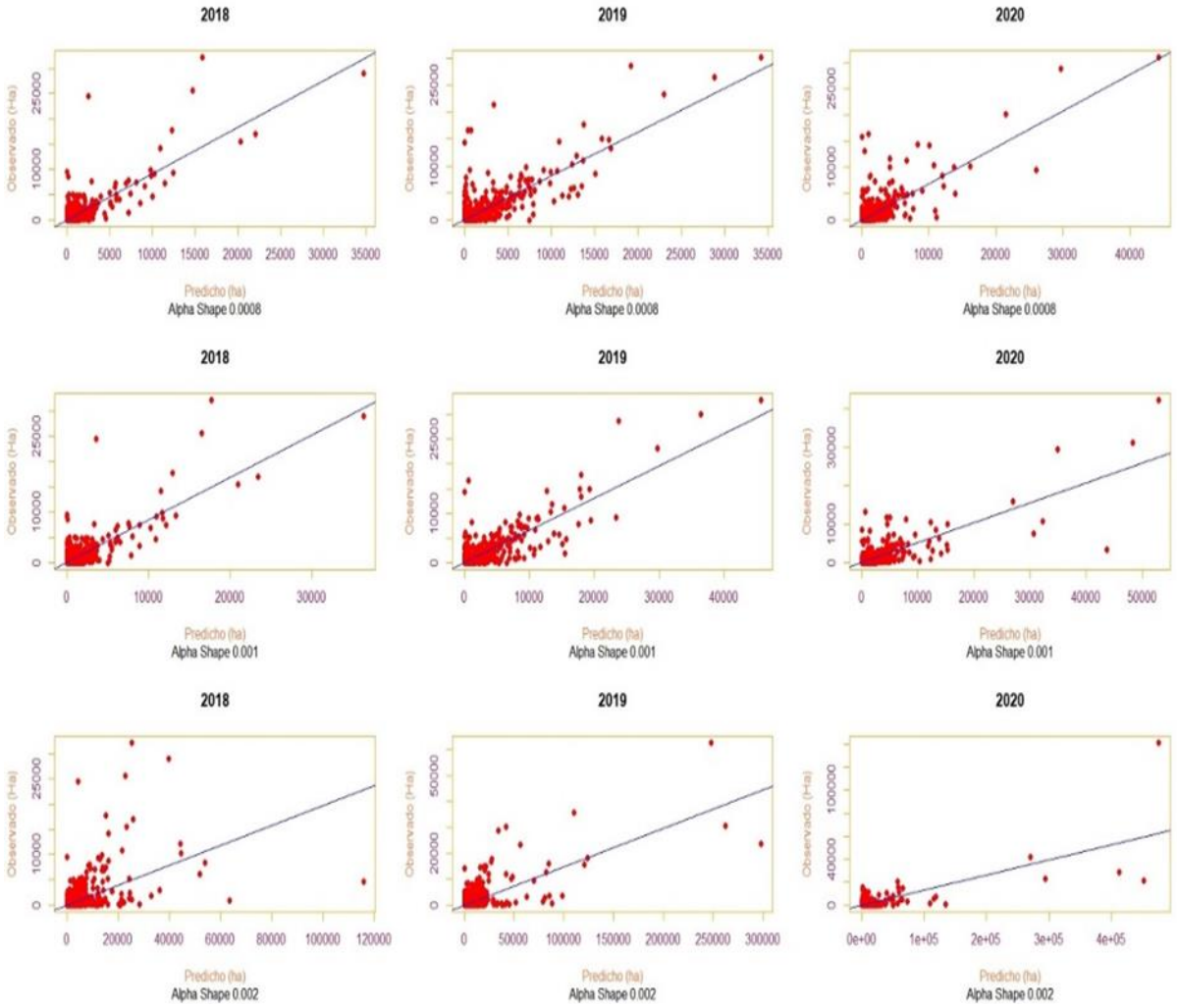


Figura 4. Valores predichos (eje x) frente a observados (eje y) del área quemada MCD64A1 prevista, utilizando la Ecuación (1), a partir de la agregación de puntos de calor a 0.008, 0.002 y 0.001 para nivel individual. La línea negra representa la línea del modelo de la correlación observada y predicha.

Mapeo del área quemada MODIS C6 (MCD64A1) partir de conglomerados Alpha shape de puntos de calor VIIRS y MODIS para nivel individual

Los perímetros que mejor se ajustaron fueron seleccionados para mapear el área quemada MODIS C6 (MCD64A1). La figura 5 muestra ejemplos de perímetros predichos con los 3 valores de Alpha analizados para dos incendios ocurridos en mayo del 2018 y abril de 2019. Se muestran los perímetros interpolados con valores de Alpha 0.0008 (a,d,g), 0.002 (b,c,h) y 0.001 (c,f,i).

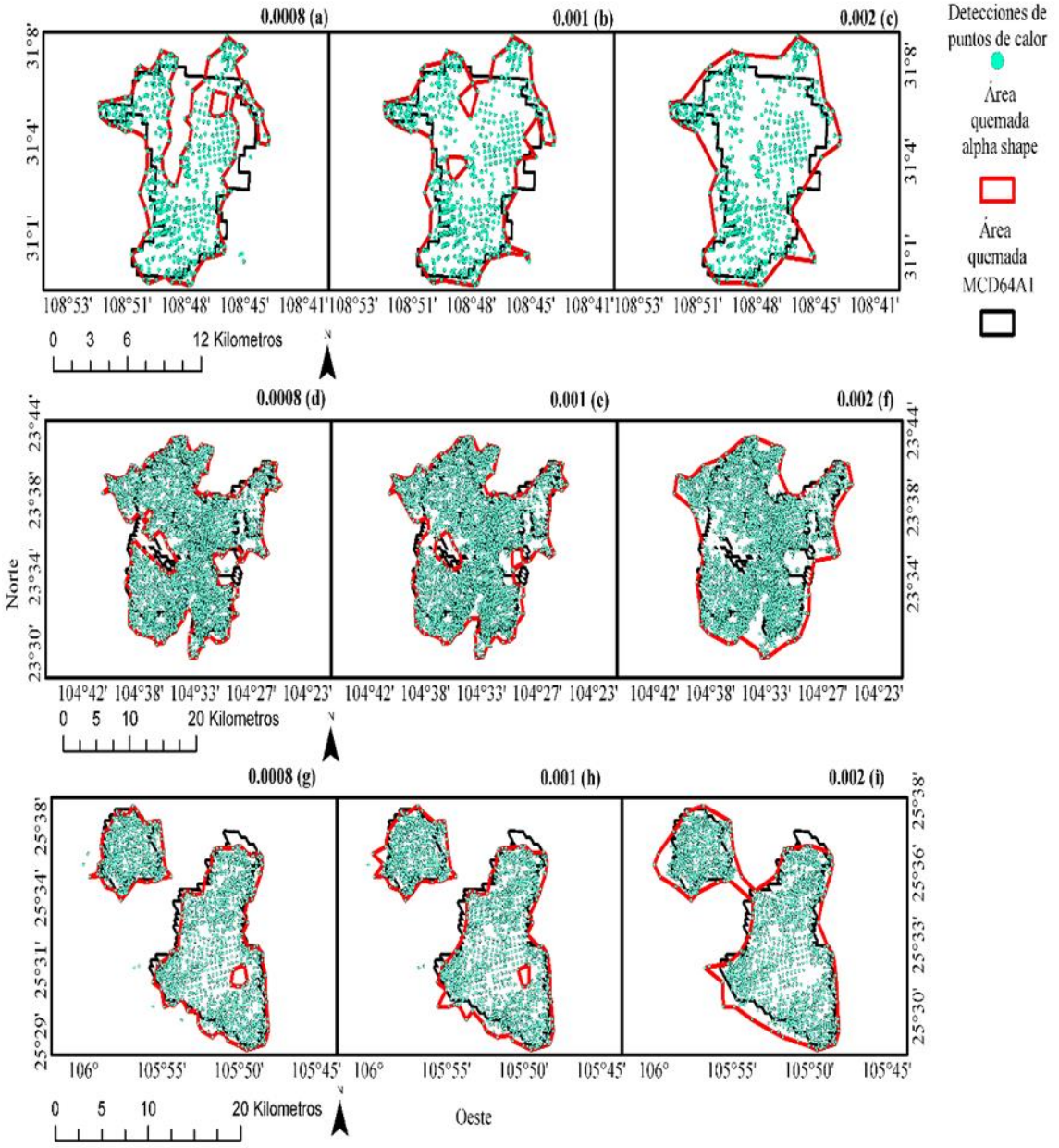


Figura 5. Ejemplos de incendios seleccionados de mayo de 2018 (a,b,c), 2019 (d,e,f) y abril de 2019 (g,h,i). La línea negra representa el área total quemada MODIS C6 MCD64A1 C6. En color rojo se muestran los perímetros interpolados con valores de Alpha 0.0008 (a,d,g), 0.002 (b,c,h) y 0.001 (c,f,i). En color azul se muestran las detecciones de puntos de calor VIIRS y MODIS de mayo de 2018 y abril y mayo de 2019, respectivamente.

Los conglomerados obtenidos estarán disponibles en el Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (http://forestales.ujed.mx/incendios2/), sirviendo como estimas rápidas de área quemada que pueden ser empleadas para apoyar su monitoreo y la planeación estratégica de su combate en tiempo casi real a nivel nacional.

Conclusiones

Los perímetros Alpha shape fueron obtenidos con la finalidad de predecir las áreas quemadas a partir de los puntos de calor de VIIRS y MODIS a través de los geoprocesos que ya están implementados en aplicaciones informáticas con licencia libre, a pesar de las limitaciones inherentes a sus resoluciones temporales y espaciales actuales, los perímetros de incendios a partir de la agregación de puntos de

calor pueden servir como una estimación temprana casi en tiempo real de la gran extensión aproximada del incendio que puede refinarse una vez que estén disponibles productos más detallados (Giglio et al. 2006; Oliva y Schroeder 2015; Artés et al., 2017; Briones-Herrera et al. 2020).

La agregación de puntos de calor activos de VIIRS y MODIS para la generación de perímetros de incendios demostró un potencial para predecir estimaciones tempranas aproximadas de la magnitud del tamaño de los incendios individuales, particularmente para incendios grandes, por ejemplo, como se realizó en el trabajo de Briones-Herrera et al. (2020), en el cual se empleó la técnica convex hull mediante la herramienta *aggregate points* en ArcGis para obtener perímetros de grandes y pequeños incendios, similar a lo realizado en este estudio. No obstante, la técnica usada en el presente estudio puede ser empleada mediante el uso de aplicaciones informática con licencia libre. Los resultados de los análisis obtenidos en este estudio pueden ser utilizados para mejorar la técnica de conglomerados de puntos de calor aplicada actualmente en el Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México.

Referencias

Artés, T; Boca, R; Liberta, G; San-Miguel, J. 2017. Non-supervised method for early forest fire detection and rapid mapping. Fifth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment Paphos, Cyprus. Proceedings.10444.

Briones-Herrera, CI; Vega-Nieva, DJ; Monjarás-Vega, NA; Briseño-Reyes, J; López-Serrano, PM; Corral-Rivas, JJ; Alvarado-Celestino, E; Arellano-Pérez, S; Álvarez-González, JG; Ruiz-González, AD; Jolly, WM; Parks, SA. 2020. Near Real-Time Automated Early Mapping of the Perimeter of Large Forest Fires from the Aggregation of VIIRS and MODIS Active Fires in Mexico. Remote Sens. 12, 2061p.

Chiaraviglio, N; Artés, T; Bocca, R; Lopez-Pérez, J; Gentile, A; San-Miguel-Ayanz, J; Cortés, A; Margalef, T. Automatic fire perimeter determination using MODIS hotspots information. IEEE 12th Int. Conf. e-Sci. (e-Science) 2016, 2016, 414-423p.

Chuvieco, E; Mouillot, F; Guido, R; van der Werf; San-Miguel-Ayanz, J; Tanase, M; Koutsias, N; García, M; Yebra, M; Padilla, M; Gitas, I. 2019. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. Remote Sens. Environ. 225, 45-64, ISSN 0034-4257.

Comisión Nacional Forestal. CONAFOR. 2020. Obtenido de https://www.gob.mx/conafor

Giglio, L; Boschetti, L; Roy, D; Humber, M; Justice, C. 2018. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. Remote Sensing of Environment, 217. 72-85p.

Giglio, L; Van DderWerf, G; Randerson, J; Collatz, G; Kasibhatla, P. 2006. Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. Atmospheric Chemistry and Physics, 957-974p.

Henderson, B; Ichoku, C; Burkholder, B; Brauer, M. 2010. Jackson The validity and utility of MODIS data for simple estimation of area burned and aerosols emitted by wildfire events. International Journal of Wildland Fire, 844-852.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía-México). Guía Para la Interpretación de Cartografía: Uso del suelo y Vegetación. Escala 1, 250, 000: Serie VI]; 2014, Ed. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Mexico City, Mexico. Available online: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/pro ductos/nueva_estruc/702825092030.pdf (accesado el 24 de Junio del 2020).

JetBrains. Pycharm. 2017, [online] JetBrains. Available online: https://www.jetbrains.com/pycharm/ (accesado el 24 de Junio del 2020).

Kasischke, E; Hoy, E. 2012. Controls on carbon consumption during Alaskan wildland fires. Global Change Biology 18, 685-699p.

Loboda, T; Csiszar, I. 2007. Reconstruction of fire spread within wildland fire events in Northern Eurasia from the MODIS active fire product. Global and Planetary Change 56, 258-273p.

Oliva, P; Schroeder, W. 2015. Assessment of VIIRS 375m active fire detection product for direct burned área mapping. Rem. Sens. Environm. 160, 144-155, ISSN 0034-4257p.

Q-Gis, QGIS.org, 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. http://www.qgis.org

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria. Available online: https://www.R-project.org/ (accesado el 21 de marzo del 2021).

Thorsteinsson, T; Magnusson, B; Gudjonsson, G. 2011. Large wildfire in Iceland in 2006: size and intensity estimates from satellite data. International Journal of Remote Sensing 32, 17-29p.

Veraverbeke, S; Sedano, F; Hook, S; Randerson, J; Jin, Y; Rogers, B. 2014. Mapping the daily progression of large wildland fires using MODIS active fire data. Obtenido de https://doi.org/10.1071/WF13015