

ANÁLISIS DE INCENDIOS EN HONDURAS A PARTIR DE IMÁGENES DEL SENSOR MODIS C6 (2013-2018)

Melbin Gómez Guillén^a, María Simone Figueiredo^b

^aMaestría en Ciencias Forestales, Centro de Ciencias Biológicas y Naturales, Universidad Federal de Acre, Río Branco, Acre (Brasil), melbingomez93@gmail.com

^bSubcoordinación de la Maestría en Ciencias Forestales, Centro de Ciencias Biológicas y Naturales, Universidad Federal de Acre, Río Branco, Acre (Brasil), symone.figueiredo@ufac.br

Recepción 04/03/2020

Aceptación 12/05/2021

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la intensidad de incendios en la República de Honduras durante un periodo de 6 años, a partir de datos obtenidos por imágenes satelitales, analizando patrones de distribución espacial y tendencia a lo largo del tiempo. El procedimiento consistió en obtener las imágenes de satélite del servidor estándar de la NASA (National Aeronautics and Space Administration). Los datos fueron descargados del sensor MODIS (espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada), en formato shapefile tipo punto, considerando los años 2013 a 2018, y posteriormente procesados utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) para crear una superficie de densidad mediante el estimador de Kernel que calcula magnitud por unidad de área. La intensidad de los incendios fue clasificada en 5 categorías: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Entre mayor es la intensidad, mayor es la cantidad de incendios en esa área. Los resultados demostraron que en los 6 años de estudio fueron registrados 46,415 focos de calor, cada uno representando un incendio. El mayor número fue registrado en 2013. Estos datos fueron comparados con los 6,099 incendios reportados al ICF (Instituto de Conservación Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre). Los departamentos con mayor intensidad de incendios fueron Francisco Morazán, Choluteca, Gracias a Dios y Comayagua, mientras que el departamento de Islas de la Bahía presentó el menor número.

Palabras clave: focos de calor, incendios, Kernel, intensidad

ANALYSIS OF FIRES IN HONDURAS FROM IMAGES OF THE MODIS C6 SENSOR (2013-2018)

Melbin Gómez Guillén^a, María Simone Figueiredo^b

^aMaster in Forest Sciences, Center for Biological and Natural Sciences, Federal University of Acre, Rio Branco, Acre (Brazil), melbingomez93@gmail.com

^bSub-coordination of the Master in Forest Sciences, Center for Biological and Natural Sciences, Federal University of Acre, Rio Branco, Acre (Brazil), symone.figueiredo@ufac.br

Received 04/03/2020

Accepted 12/05/2021

Abstract

The objective of this study was to evaluate the intensity of fires in the Republic of Honduras over a period of 6 years, based on data obtained by satellite images analyzing spatial distribution patterns and trend over time. The procedure consisted of obtaining satellite images from the standard NASA (National Aeronautics and Space Administration) server. The data were downloaded from the MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) sensor, in point shapefile format, considering the years 2013 to 2018 and later they were carefully processed using a Geographic Information System (GIS) to create a density surface using the Kernel estimator that calculates magnitude by unit of area. The intensity of the fires was classified into 5 categories: very low, low, medium, high and very high. The greater the intensity, the greater the number of fires in that area. The results showed that in the 6 years of study, 46,415 heat sources were registered, each one representing a fire. The highest number was recorded in 2013. These data were compared with the 6,099 fires reported to the ICF (Institute of Forest Conservation, Protected Areas and Wildlife). The departments with the highest intensity of fires were Francisco Morazán, Choluteca, Gracias a Dios and Comayagua, while the department of Islas de la Bahía presented the lowest number.

Keywords: heat sources, fires, Kernel, intensity

Introducción

La degradación del medio ambiente en Honduras ha causado alarma debido a la disminución de fuentes de agua, el incremento de la temperatura y la baja producción en la agricultura. Esto es causado por muchos factores, principalmente por los cambios del clima, la deforestación, avances de la agricultura migratoria y el incremento de los incendios, trayendo consecuencias en el clima, biodiversidad, economía, salud humana (Cascio, 2018; Machado-Silva *et al.*, 2020).

En Honduras cada año son registrados muchos incendios de diferente índole (por ejemplo, agrícolas y forestales), que en su mayoría son causados por actividades antrópicas. Sin embargo, no son reportados en su totalidad a los órganos de gobierno encargados de controlarlos, dificultando el conocimiento sobre la cantidad de focos de calor presentados en un año determinado. Es por ello que el sensoriamiento remoto o detección por satélites se ha convertido en una herramienta con gran potencial para proporcionar información detallada en grandes escalas sobre las áreas afectadas (Kaufman *et al.*, 1998). En este sentido, la utilización de series temporales de datos generados por satélites, junto a las técnicas de geoprocésamiento, constituye una valiosa fuente de información, siendo imprescindible su utilización para la gestión ambiental y ejecución de actividades que minimicen los impactos de estos factores (Granemann *et al.*, 2009).

El mayor número de incendios en Honduras se presenta en la temporada seca, que comprende los meses de noviembre hasta abril, los meses más críticos marzo y abril considerados los más secos. Según datos del ICF (2014), en el periodo de 2013 a 2018 solo fueron reportados 6,099 incendios.

Esta investigación permitirá evaluar la cantidad de focos de calor registrados en Honduras en el periodo que comprende de 2013-2018 usando datos satelitales, y de esta forma identificar aquellos departamentos que han sufrido una mayor frecuencia. Se espera que los órganos de gobierno, instituciones académicas, organizaciones no gubernamentales, y todos aquellos

grupos organizados en departamentos y municipios, se comprometan a proteger más los recursos naturales, monitoreando los incendios a través de los satélites y así evitar la mayor propagación de los mismos. Estos monitoreos de incendios por medio de satélites ya son realizados en Brasil, donde obtienen información en tiempo real (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>), como en otras partes del mundo.

Área de estudio

La República de Honduras está localizada geográficamente en el corazón del continente americano, en la región centroamericana. Sus límites son al norte con el océano Atlántico, al sur con El Salvador y el océano Pacífico, al este con Nicaragua y el oeste con Guatemala y El Salvador (Figura 1). Tiene una extensión territorial de 112,492 km².

En Honduras, no se presentan las condiciones típicas de las cuatro estaciones que son características de las latitudes medias. El país presenta dos periodos: uno lluvioso, que comprende los meses de mayo hasta octubre, y una temporada seca, que se extiende desde noviembre hasta abril. Sin embargo, diferentes fenómenos y parámetros climáticos producen algunas variantes en diferentes zonas del país. Desde el punto de vista político, Honduras se divide en 18 departamentos (Figura 2), 298 municipios, 3,731 aldeas y 30,591 caseríos (RedHonduras, 2023).

Las principales actividades económicas son la agricultura, minería y maquilas, y en menor escala, la producción forestal.

Metodología

Base de datos

Los datos fueron adquiridos y descargados en la página que corresponde a la NASA (Earthdata, 2021), donde se pueden obtener datos de incendios, usando el sensor MODIS que está a bordo del satélite tierra de la NASA. Se obtuvo la información de in-

Figura 1. Localización geográfica de Honduras.

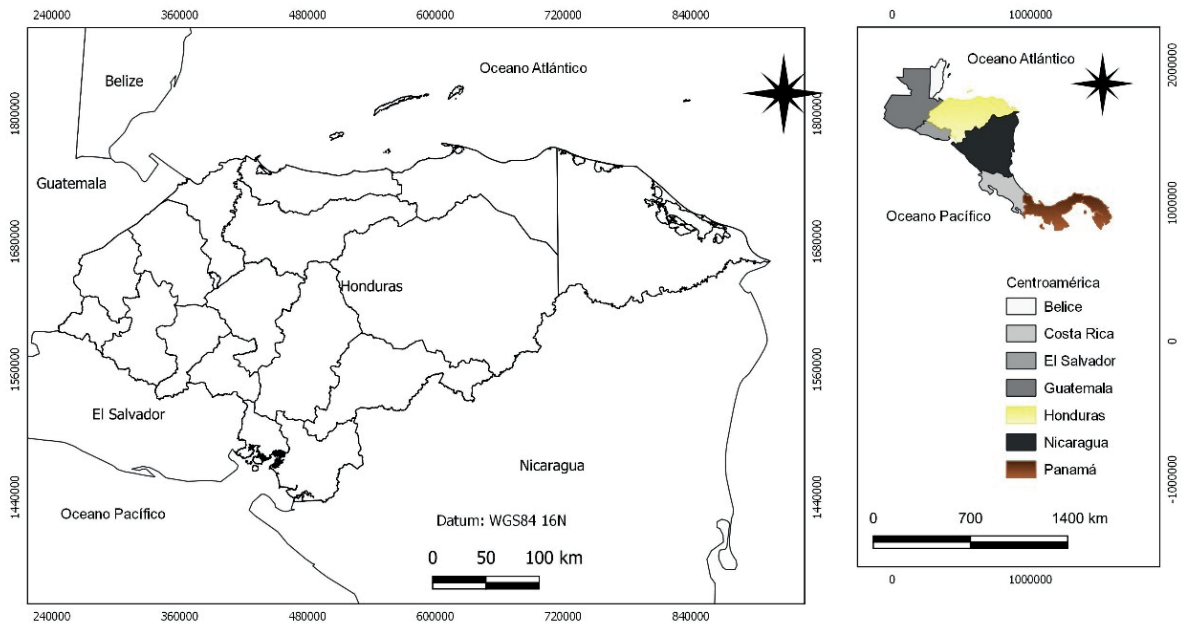
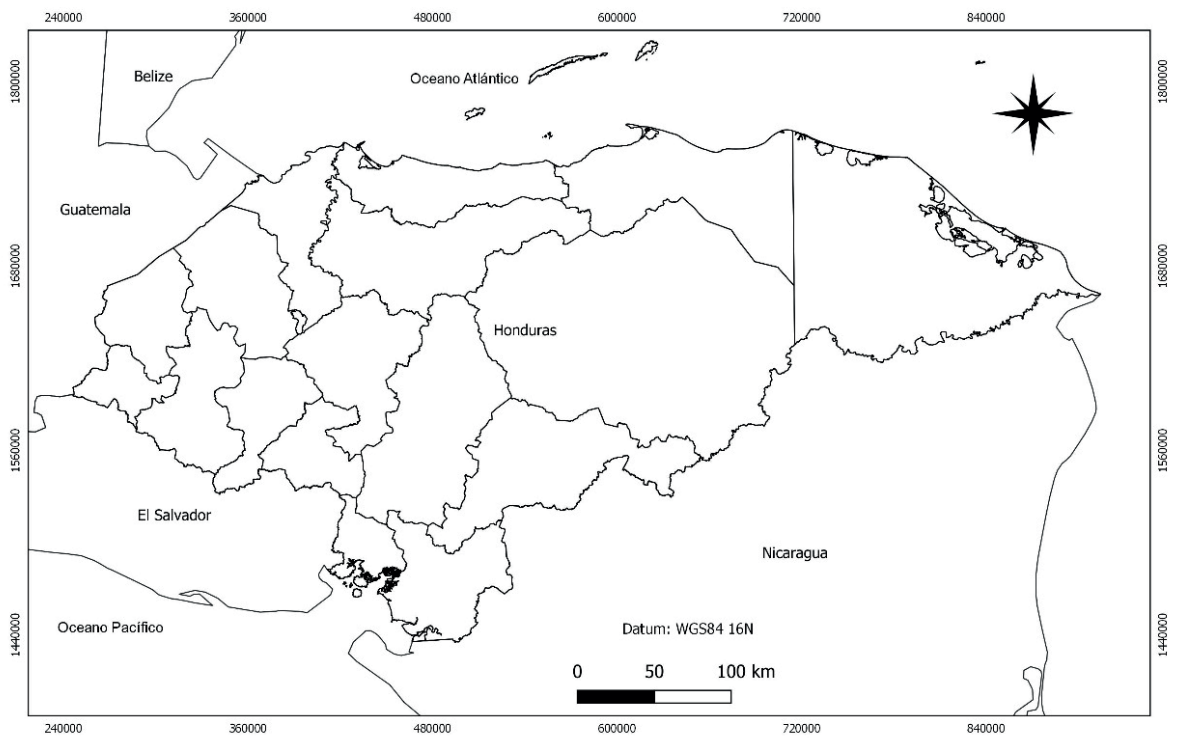


Figura 2. División departamental de Honduras.



incendios desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre para cada año del periodo 2013-2018.

Este satélite captura imágenes de resolución moderada usando el sensor MODIS C6 (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) en las últimas 24-48 horas y 7 días, en los formatos shapefile, KML, WMS o de texto, donde son descritas las distribuciones globales de densidad de píxeles de fuego (Giblio *et al.*, 2006). Los datos con más de 7 días pueden ser descargados en la opción de “Descarga de archivos”. El MODIS C6 está disponible a partir de noviembre del año 2000 (para la tierra) y de julio de 2002 (para el agua) hasta el presente.

Las técnicas de detección de incendios MODIS son automatizadas usando un algoritmo que examina cada píxel de la imagen de acuerdo con el espectro electromagnético (Escobar y Castro, 2014). La confianza de los datos varía de 0 a 100 %, clasificados en tres clases de fuego (fuego de baja confianza, fuego de confianza nominal, fuego de alta confianza), y ese valor se basa en una colección de algoritmos intermediarios usados en el proceso de detección. El algoritmo produce 1 km de píxeles de fuego, pero los píxeles del MODIS aumentan hacia el borde del escaneo.

Los datos de incendios observados en el país para el mismo periodo de análisis fueron adquiridos por medio de la página del INE (Instituto Nacional de Estadística, 2017), con un periodo que corresponde del 2013 al 2017. Durante este periodo el índice más alto se dio en el año 2016 donde se reportaron 1,517 incendios y el más bajo se dio en el año 2013 con 411. Los incendios ocurridos en el 2018 fueron adquiridos de la página del ICF, mediante el anuario estadístico que da a conocer la información de la cantidad de incendios reportados (ICF, 2018).

Procesamiento de datos

Todos los datos fueron importados para ambiente SIG en shapefile; este formato permite almacenar datos vectoriales, tipo punto, polígono y líneas. En seguida se utilizó un software SIG para el procesamiento mediante el uso de un sistema de coordenadas proyectadas con Datum WGS84 para la zona 16N.

Para cada uno de los años, se generó un mapa de localización de los incendios por departamen-

to. Para analizar la intensidad de distribución de focos de calor, se utilizó el estimador de Kermel que permite visualizar las regiones de focos de calor en forma escalar y así definir patrones. El estimador de densidad de Kermel aplica una función matemática de 1 a 0 en la posición del punto, creando una delimitación circular alrededor de cada punto de la muestra a partir de su radio de influencia (Souza *et al.*, 2013; Ferreira *et al.*, 2016).

Las intensidades de concentración de los incendios se clasificaron en 5 niveles, variando su tonalidad así: muy bajo (color blanco), representando lugares donde la influencia de incendios fue baja o cero; bajo (color verde), lugares donde los incendios fueron distribuidos en bajas cantidades presentando pocos por área; medio (color amarillo), la intensidad de incendios por área es mayor; alto (color rosado), incendios distribuidos con mayor intensidad por área; y muy alto (color rojo), incendios que su distribución es muy intensa. Se elaboraron mapas temáticos en cada uno de los diferentes años de este estudio.

Agrupación de datos para análisis

Los mapas fueron agrupados y analizados anualmente durante el periodo de los 6 años, donde se pudo ver los departamentos que tuvieron mayor intensidad de incendios. Después, el número de focos de calor observados por el satélite fue comparado con los datos de incendios reportados al ICF para el mismo periodo de 6 años.

Resultados y discusión

Análisis temporal de incendios

El número de focos de calor obtenidos por el sensor MODIS C6 fue por cada año, desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre, correspondiendo el mayor número registrado en el 2013 con un total de 9,037; esta cifra se explica porque fue un año de mucha sequedad a nivel mundial (Matailo-Ramirez *et al.*, 2019), quedando mucho combustible disponible en los bosques, mientras que en el 2017 disminuyó a 5,586 (Figura 3). En los años 2014 y 2015, hubo

apenas una reducción; sin embargo, en 2016 y 2018 existe un aumento significativo en la cantidad de focos. Los incendios parecen reducir en algunos años y aumentar en otros, esto está relacionado a los tiempos de sequía que han afectado a nivel mundial (Matailo-Ramirez *et al.*, 2019), a la mala conciencia de la población, también al no cumplimiento de la ley, donde se deben aplicar las penas detalladas en la Ley Forestal Áreas Protegidas y Vida Silvestre en referencia a los delitos forestales que provocan aquellas personas que causan daño al bosque, como colmeneros, cazadores, entre otros.

Análisis de incendios durante los 6 años

Durante este periodo, se registraron 46,415 focos de calor, distribuidos en los 18 departamentos. El departamento de Islas de la Bahía presentó menos incendios.

En la Figura 4 se refleja la intensidad de los focos de calor en cada uno de los departamentos. Se destaca que cuanto mayor es la intensidad de focos de calor (alto y muy alto), mayor es la intensidad de área quemada. En el año 2017, se presentó un menor número de incendios y la intensidad de ellos fue baja en la mayoría de los departamentos.

El método de Kernel resalta que los departamentos de Ocotepeque, Lempira, Intibucá presentaron una frecuencia muy baja, lo que significa que los incendios registrados por área no fueron de gran magnitud. Es importante destacar que el departamento de Islas de la Bahía fue el que presentó la intensidad más baja de focos de calor durante los seis años.

En los años 2013, 2014, 2015, 2016 y 2018, los departamentos de Francisco Morazán, Olancho, Choluteca, Gracias a Dios y Comayagua se mantiene relativamente constante con alta intensidad, esto puede ser explicado porque en estos se centra la mayor densidad de bosques de coníferas (pinos) (ICF, 2018). Es importante resaltar que el combustible presente en estos bosques es más susceptible a generar incrementos en focos de calor, esto sumando las malas prácticas agrícolas, la poca conciencia de la población, impacta de forma negativa para que en estos departamentos año con año la intensidad de los puntos de calor se man-

Figura 3. Focos de calor registrados por el sensor MODIS en Honduras durante los años de 2013 a 2018.

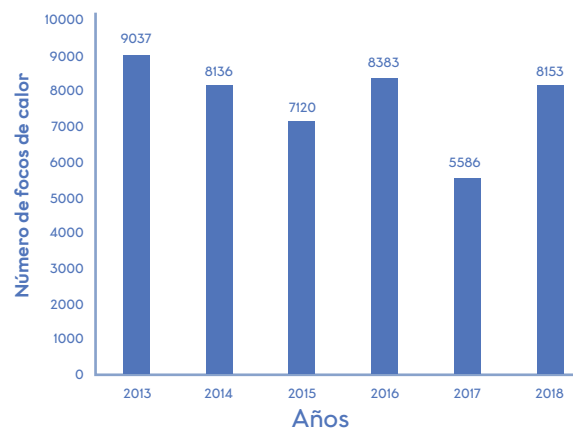
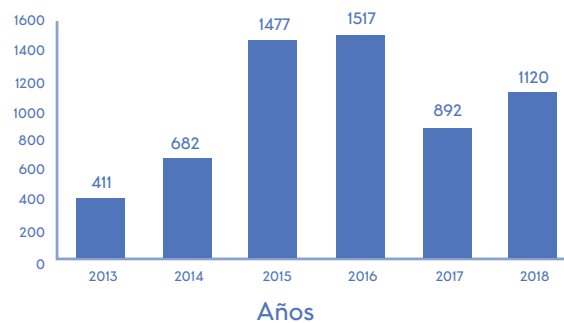


Figura 5. Incendios reportados por la población, brigadas de protección forestal, bomberos, cooperativas agroforestales, en los últimos 6 años.

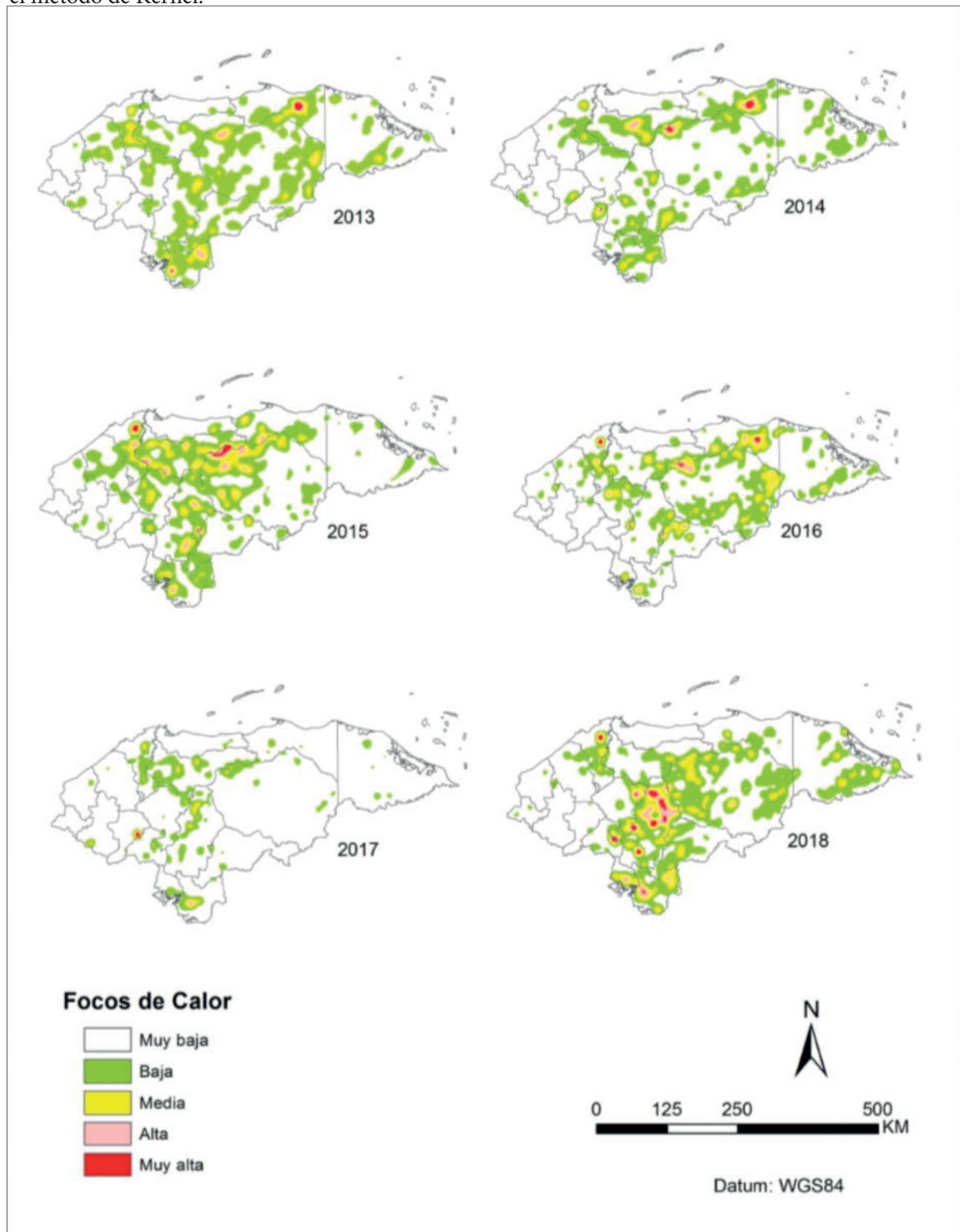


tenga constante, incluso aumentando en algunos años, como ser el 2018 comparado con el 2017.

Comparación de incendios observados con satélite versus incendios reportados al ICF

Según los datos obtenidos en el INE, se reportaron 6,099 incendios para el periodo 2013-2018 (Figura 5). Estos datos están relacionados con aquellos incendios que fueron más visibles en los 18 departamentos de Honduras; sin embargo, según datos del ICF (2018) el departamento de Francisco Morazán presentó los mayores números en focos de calor, estos incendios

Figura 4. Intensidad de incendios en la República de Honduras en el periodo 2013-2018, evaluados por el método de Kernel.



son comunes en las zonas protegidas, bosques privados, ejidales, causando muchas hectáreas de bosque quemados y una intensidad muy alta. En el año 2016 se reportó el mayor número de incendios (un total de 1517), y en el año 2013 se registró el menor número de incendios (solo 411).

La mayoría de incendios que se dan en áreas rurales o zonas remotas de difícil acceso, no son fáciles de registrar y por ende no son reportadas al ICF. Los datos obtenidos para este análisis fueron recopilados por los anuarios estadísticos que informa el ICF a finales de cada año, en los que se resalta que la mayor frecuencia se produce por mano criminal, y se menciona otras producidas por cazadores, leñadores, colmeneros, pescadores, crematorios rurales, derecho de vía, entre otros.

El número de focos de calor reportados al ICF fue relacionados con los datos obtenidos por el sensor MODIS C6, siendo posible conocer que solo el 13.14 % del 100 % de los incendios registrados por el satélite fueron informados al ICF. Sin embargo, el satélite registra todos los focos de calor desde baja intensidad hasta alta, mientras que los que son reportados, en su mayoría son incendios de densidad media y alta siendo visibles desde lugares lejanos por el ojo humano, según los datos obtenidos por los anuarios estadísticos de los años relacionados a este estudio. Esto nos permite identificar que los sensores embarcados en los satélites son una herramienta importante a ser aplicada en estos estudios.

Conclusiones

Hoy en día, el uso de la tecnología ha facilitado la obtención de información de forma gratuita y con buena resolución temporal, muy útil para la detección y control de incendios forestales de áreas remotas de difícil acceso. Utilizando datos de satélites relacionados a la identificación de incendios como MODIS C6 y procesándolos en un software específico, se obtiene información útil para tomar decisiones. Todas aquellas personas que están en un cargo relacionada a la parte ambiental deben estar capacitados en el uso de tecnologías, y de esta forma monitorear cada día los incendios que están

activos e informar a los órganos encargados, para evitar la proliferación de ellos. Países como Brasil y otros invierten en tecnología que permiten el monitoreo y control de focos de calor se lleve a diario. Los planes de prevención de incendios deben ser reforzados en todo el país, y debe haber mayor compromiso por parte de los órganos de gobierno, instituciones académicas, organizaciones no gubernamentales, patronatos, juntas de agua, y todos aquellos entes que están de una u otra forma organizada, tanto a nivel departamental y municipal.

Agradecimientos

A la Organización de Estados Americanos (OEA) y al Grupo Coimbra de Universidades Brasileñas (CGUB), al Programa de Posgraduación en Ciencias Forestales de la Universidad Federal del Acre, por la oportunidad que me brindaron en estudiar en esta prestigiosa universidad.

Referencias

- Cascio, W. E. (2018). Wildland fire smoke and human health. *Science of The Total Environment*, 624, 586-595, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.086>
- Earthdata (2021). *Información sobre incendios para el sistema de gestión de recursos*. <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data/near-real-time/firms/active-fire-data>
- Escobar, F. J.J. y Castro, L. N. B. (2014). Inventario y cartografía de focos de calor de Honduras, periodo 2000 a 2011, a partir de imágenes de satélite MODIS. *Revista Ciencia y Tecnología*, (14), 129-145. <https://doi.org/10.5377/rct.v0i14.1800>
- Ferreira, L. J., Dos Santos, C. C., Antonucci, B., De Souza, N. F. C. y Dos Santos, A. M. (2016). Focos de calor em terras indígenas do estado de Rondônia. *Blucher Engineering Proceedings*, 3(2), 1100-1107. <https://doi.org/10.5151/engpro-eneeamb2016-ma-005-4956>
- Giblio, L., Csiszar, I. y Justice. C.O. (2006). Global distribution and seasonality of active fires

- as observed with the Terra and Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensors. *Journal of geophysical research: Biogeosciences*, 111(G2). <https://doi.org/10.1029/2005JG000142>
- Granemann, D. C. y Carneiro, G. L. (2009). Monitoreo de focos de incendio e áreas quemadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 1(1), 55-62. https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2009_monitora_vegetacao_sr.pdf
- ICF. (2014). *Anuario Estadístico Forestal de Honduras*. Tegucigalpa M.D.C., Honduras. <https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2021/08/Anuario-Forestal-2013.pdf>
- ICF. (2018). *Anuario Estadístico Forestal de Honduras* (Informe nº 23). Tegucigalpa M.D.C., Honduras. <https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2021/08/Anuario-Forestal-2008.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística (2017). *Incendios forestales 2013-2017*. <https://www.ine.gob.hn/V3/imag-doc/2019/06/Incendios-Forestales-2013-2017.pdf>
- Kaufman, Y. J., Justice, C., Flynn, L., Kendall, J., Giglio, L., Prins, E. y Setzer, A. (1998). Monitoring global fires from EOS-MODIS. *Journal of Geophysical Research*, 103(32), 215-239. [https://modis-images.gsfc.nasa.gov/_docs/Kaufman%20et%20al.%20\(1998c\).pdf](https://modis-images.gsfc.nasa.gov/_docs/Kaufman%20et%20al.%20(1998c).pdf)
- Machado-Silva, F., Libonati, R., Lima, T. F. M., Peixoto, R. B., de Almeida Franca, J. R. A., Magalhaes, M. F.M., Figueiredo, M. A., Santos, F.L.M., Rodrigues, J. A. y DaCamara, C.C. (2020). Drought and fires influence the respiratory diseases hospitalizations in the Amazon. *Ecological Indicators*, (109), 105817. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105817>
- Matailo-Ramirez, L. M., Luna-Romero, Á. E., Alava, A. R. C. y Jaramillo, F. Y. V. (2019). Sequías: efecto sobre los recursos naturales y el desarrollo sostenible. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 154-162. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/issue/view/17>
- RedHonduras (2023). *Clima en Honduras*. <https://redhonduras.com/geografia/clima-en-honduras/>
- Souza, N. P., Silva, E. M. G. C., Teixeira, M. D., Leite, L. R., Reis, A. A., Souza, L. N., Junior, F.W. A. y Resende, T. A. (2013.) *Aplicação do estimador de densidade Kernel em Unidades de Conservação na bacia do Rio São Francisco para análise de focos de desmatamento e focos de calor*. [Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto]. <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.28.09/doc/p1135.pdf?linktype=relative>