

Los focos de calor y los incendios forestales en la provincia Cienfuegos, Cuba



Hot spots and forest fires in Cienfuegos province, Cuba

<http://opn.to/a/oKfNW>

Sinaí Barcia-Sardiñas ^{1*}, Marilin Fontes-Leandro ¹, Endris Yoel Viera-González ¹

¹Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba

RESUMEN: El empleo de la percepción remota satelital, vinculada a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y al tema de los incendios en la vegetación, constituye una importante herramienta para el pronóstico, detección, vigilancia y estudio del comportamiento de este fenómeno. Este trabajo tiene como objetivo principal estudiar el comportamiento espacial de los focos de calor detectados en la provincia de Cienfuegos, así como realizar su validación con incendios forestales ocurridos. Se utilizó la base de datos de focos de calor del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales de Brasil en el período 2001-2016 y se contó con la data histórica de incendios forestales de la provincia en igual período. Los resultados muestran el comportamiento espacial de los focos de calor en la provincia, así como la validación de estos con incendios forestales detectados en tierra. Los resultados obtenidos contribuyen al mejoramiento del servicio de monitoreo de focos de calor como parte del Sistema de Aviso y Alerta Temprana de incendio en la vegetación y demuestran que, aunque el empleo de la percepción remota satelital, no impide que los incendios surjan, sí contribuye a disminuir significativamente los impactos negativos que ocasionan hoy en día los incendios a la economía, la sociedad y el medio ambiente.

Palabras Clave: teledetección, foco de calor, uso del suelo, incendios forestales.

ABSTRACT: The use of satellite remote sensing, linked to Geographic Information Systems (GIS) and the subject of fires, is an important tool for forecasting, detecting, monitoring and studying the behavior of this phenomenon. The main objective of this work is to study the spatial behavior of the hot spots detected in the province of Cienfuegos, as well as to validate this information with forest fires that have occurred. The hot spots database of the National Institute of Spatial Research of Brazil in the period 2001-2016 and the historical data of forest fires of the province in the same period were used. The results showed the spatial behavior of the hot spots in the province, as well as the validation of these with forest fires detected on land. The results obtained contribute to the improvement of the heat source monitoring service as part of the Early Warning and Warning System of vegetation fires and show that although the use of satellite remote sensing does not prevent fires from arising, it does contribute to reduce significantly the negative impacts caused by fires to the economy, society and the environment.

Key words: remote sensing, hot spots, land use, forest fires.

*Autor para correspondencia: Sinaí Barcia-Sardiñas. E-mail: sinai@cfg.insmet.cu

Recibido: 01/02/2019

Aceptado: 15/04/2019

INTRODUCCIÓN

El empleo de la percepción remota satelital, vinculada a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y al tema de los incendios en la vegetación, constituye una importante herramienta para el pronóstico, detección, vigilancia y estudio del comportamiento de este fenómeno. Hasta el momento, las metodologías más empleadas en teledetección para la detección y monitoreo del fuego, así como para evaluar los impactos de los incendios se han basado en la información que brindan los focos de calor activos detectados por sensores con bandas en el infrarrojo medio (3 a 5 μm) (Chuvieco, 2009).

El foco o punto de calor (*hot spot*) es la expresión que generalmente se utiliza para referirse a un incendio potencial. Es decir, la presencia de un incendio asegura que en el mapa de focos aparecerá un punto indicador (siempre y cuando no haya nubes sobre la región). Sin embargo, que en el mapa de focos aparezca un punto indicador no significa que en ese lugar haya un incendio. En este último caso, las altas temperaturas del terreno detectadas (anómalas respecto de las temperaturas de la superficie del entorno de dicho punto) sólo están representando que puede haber o habrá en el corto plazo de horas un incendio (Rodríguez, 2012).

El tamaño mínimo del incendio que puede ser detectable es diferente en función de muchas variables (ángulo de lectura, bioma, posición del sol, temperatura de la superficie terrestre, cobertura de nubes, cantidad de humo y dirección del viento, etc.), por lo que el valor exacto puede variar ligeramente de acuerdo a estas condiciones. Por lo general los sistemas de análisis de imágenes de satélites detectan la existencia de fuego en la vegetación sin tener condiciones de avalar el tamaño del área que se está quemando o el tipo de vegetación afectada (INPE, 2014).

En Cuba con una superficie cubierta de bosques de 3178.8 mil ha (ONE, 2015), al igual que en el resto del mundo, los incendios forestales constituyen un fenómeno que ejerce una influencia negativa en la deforestación, la degradación de los

suelos y la pérdida de la diversidad biológica, entre otros. Los cambios climáticos, las altas temperaturas y la sequía agrícola agudizan cada vez más la etapa crítica de los incendios forestales en el país, la cual comprende el período entre febrero y mayo, siendo el bimestre marzo-abril el de máximo peligro (Figueredo y González, 2007). En cuanto a las causas que los provocan según esta misma fuente plantea que el 90% se originan a consecuencia de la actividad humana y solo un 10% corresponde a causas naturales.

En el caso de la provincia Cienfuegos con una superficie boscosa que representa el 16.4 % del área provincial, (ONEI, 2015), durante el 2015 aproximadamente 50 hectáreas de bosques naturales y plantaciones forestales se dañaron, debido a los incendios, con mayor afectación en los municipios de Cumanayagua, Abreus y Palmira. Esos hechos ocurren con más intensidad en áreas de las empresas forestales, pecuarias y azucareras y la mayoría de las causas fueron por negligencia humana. Estos sucedieron sobre todo por la quema de cañaverales, potreros y tierras agropecuarias en usufructo, sin cumplir las medidas de seguridad y en horarios inadecuados. A ellos se suman la circulación de maquinarias agrícolas y vehículos sin los dispositivos de matachispas (Perlavisión, 2016).

Cuba utiliza con efectividad un sistema de vigilancia y pronósticos agro-meteorológicos para prevenir incendios de la vegetación en zonas rurales, procedimientos que incluyen, el acceso vía internet al Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales de Brasil (INPE) donde se obtiene la información preliminar (focos de calor) de un posible incendio en áreas rurales de nuestro país. Este instituto monitorea la ocurrencia de estos desastres en nuestra área geográfica fruto de la cooperación entre Cuba y Brasil.

Desde el 2012 el Centro Meteorológico de Cienfuegos (CMPCF) implementa el Sistema de Aviso y Alerta Temprana de Incendios en la Vegetación, a través del cual se realiza la vigilancia de focos de calor a través del sistema brasileño “Queimadas”, así como se calculan índices de peligro de incendios en la vegetación para alertar

de condiciones favorables para la ocurrencia de estos siniestros en la provincia. En la actualidad se cuenta con una importante base de datos sobre los focos de calor, así como de incendios forestales las cuales no han sido introducidas en la investigación científica sobre esta temática y que su estudio pudiera arrojar importantes resultados que contribuyan a la prevención y combate más efectivo de estos fenómenos en la provincia Cienfuegos.

Resultaría clave para el trabajo de vigilancia y monitoreo que realiza el CMPCF esclarecer qué relación hay entre un foco de calor y superficie quemada, o dicho de otra forma, cuántos incendios no son detectados por los puntos de calor y cuántos de los puntos detectados como incendio son realmente tales.

El presente trabajo forma parte de los resultados obtenidos en el Proyecto Nacional “Estudio y evaluación del comportamiento de focos de calor detectados por satélites en Cuba. Automatización de procesos para el Sistema de Avisos (SAATIN)”. El mismo tiene como objetivo: Caracterizar el comportamiento espacial de los focos de calor en la provincia Cienfuegos en el período 2001-2016 y establecer su relación con los incendios forestales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales y Bases de Datos

Se utilizó la base de datos de focos de calor del INPE en el período 2001-2016. La misma se obtuvo a partir de las informaciones existentes en el banco de datos SIG-Quemas referentes a Cuba que se encuentran disponibles en la página Web “BD Queimadas”: <https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/>.

También se contó con la data histórica de incendios forestales por años a partir de las actas de incendios forestales del Cuerpo de Guardabosques (CGB) en la provincia Cienfuegos, además de los datos publicados en los Anuarios Estadísticos de la provincia. Estas bases solo cuentan con la cantidad de incendios forestales de la provincia, que son aquellos que se definen como: “Todo incendio que recorra alguna superficie tipificada como forestal,

aunque se haya iniciado en un ecosistema no forestal” (Servicio Estatal Forestal, 1999).

La base cartográfica utilizada en la investigación se detalla a continuación:

- Mapa de Cobertura Forestal (Fuente: INSMET)
- Mapa de Uso del Suelo (Fuente: INSMET)

Metodología utilizada

Es importante conocer que la relación foco de calor vs incendio no es directa en las imágenes de satélite. Un foco indica la existencia de fuego en un elemento de resolución de la imagen (pixel), que varía de 1x1 km hasta 4x4 km. En este pixel puede haber uno o varios incendios distintos que la indicación será de un único foco. En cambio, si un incendio fuera muy extenso entonces será detectado en algunos píxeles vecinos, o sea, varios focos estarán asociados a un único gran incendio. También es común que un mismo incendio sea detectado por varios satélites. Por lo tanto, los mapas y tablas exportados de sitios de internet como el del INPE que presentan todos los focos de calor de todos los satélites siempre tendrán algunas repeticiones. Adicionalmente, en muchos casos, por la variación natural del tamaño de los píxeles entre los varios satélites, un mismo incendio podrá ser indicado en localidades con distancias de algunos kilómetros en dependencia del satélite que lo detectó.

Otro tema a tener en cuenta cuando se estudia la correspondencia entre los focos de calor y los incendios reales es que no siempre los sensores de los satélites son capaces de detectar todas las quemadas en tierra. Según el [INPE \(2014\)](#) las principales condiciones que impiden o perjudican significativamente la detección de incendios son:

- La existencia de un frente de fuego con menos de 30 m.
- Fuego solo en el suelo en un bosque denso, sin ser afectada la copa de los árboles.
- Existencia de nubosidad sobre la región observada.
- Ocurrencia de fuegos de pequeña duración, aconteciendo estos entre el paso de los satélites

por la región observada o entre dos observaciones en el caso de los geoestacionarios.

- Fuego en una ladera de la montaña mientras el satélite solo observa la ladera contraria.

Otra de las posibles “no coincidencias” entre el foco y el incendio real es el horario en que este verdaderamente ocurre. Como el satélite da una visión instantánea, entonces el incendio detectado en un pase determinado, obligatoriamente debe haberse iniciado antes del pase de este por la zona. Por tanto, el observador que tuvo la posibilidad de detectarlo en tierra, reporta una hora y el satélite lo informará más tarde.

El análisis espacial de la distribución de los focos de calor en la provincia Cienfuegos incluyó el cálculo del “área afectada por incendios”. Para ello fue necesario determinar primeramente los “píxeles de incendios” (*píxel en el que ha sido detectado un foco al menos una vez, durante el período de estudio*). El procedimiento requirió dividir la provincia en cuadrículas de 1 x 1 km, [Figura 1](#), y luego considerar aquellas en que al menos se había detectado 1 foco de calor como “píxeles de incendios”. Luego para determinar el “área afectada” se sumaron las áreas de los “píxeles de incendio” que se encontraban dentro de los límites de la provincia y sus 8 municipios.

Se calculó además el porcentaje de “área afectada” por municipios contra el área total afectada en la provincia y contra el área de cada municipio.

Se analizó detalladamente la serie de incendios forestales brindada por el CGB determinando su correspondencia o no con los focos de calor analizando en cada caso la cantidad de focos asociados a cada incendio, los satélites que lo reportaron y la distancia media del foco al incendio. Esto permitió obtener las ventajas y deficiencias que aún presenta la vigilancia espacial de los satélites para detectar focos de calor e incendios forestales en la provincia Cienfuegos.

El análisis de “falsos positivos”, es decir focos de calor que no coincidieron con algún incendio no fue realizado en el presente estudio pues solo se contó con las bases de datos de incendios forestales y no con otros tipos de quemas en otras formaciones vegetales.

Las tablas de datos y gráficos se realizaron en Microsoft Excel mientras que los análisis estadísticos se realizaron utilizando el SPSS 17.0. Todo el análisis espacial se realizó utilizando el MapInfo 10.5.

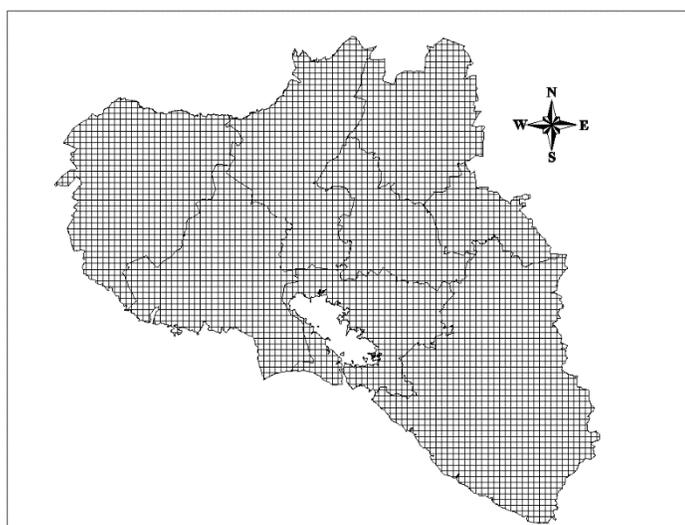


Figura 1. Rejilla de 1x1 km utilizada en el cálculo del “área afectada por incendios”. Provincia Cienfuegos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento espacial de los focos de calor en la provincia Cienfuegos

En el período 2001-2016 fueron detectados en la provincia 5016 focos de calor por los satélites AQUA-TERRA, GOES y ATSR (Barcia *et al.*, 2018). La distribución espacial de los mismos, [Figura 2](#) (izquierda), muestra que estos han sido registrados en prácticamente toda la provincia, con excepción de la zona más alta (>500 m sobre el nmm) de las Alturas de Trinidad perteneciente al macizo montañoso Guamuhaya. La vegetación de esta zona es densa, de alto porte y con especies de interés forestal y a pesar de ser la zona de la provincia donde ocurre la mayor cantidad de incendios forestales, [Figura 2](#) (Derecha), en ella no se detectan apenas focos de calor. Esta situación es debida a que los incendios que ocurren en ella son superficiales, según especialistas del CGB, raramente alcanzan la copa de los árboles, condición que inhibe su detección por los satélites. Además, la nubosidad en esta zona de la provincia es alta durante todo el año y la mayor parte del día, condición que también dificulta la detección de puntos de calor a través de técnicas de teledetección.

Los municipios que presentan la mayor cantidad de focos de calor se corresponden con los de mayor extensión espacial, siendo Cumanayagua, Rodas y Aguada de Pasajeros los que presentan los mayores

valores (> 700) en el período estudiado. Por su parte en Cienfuegos y Cruces se reporta la menor cantidad, [Figura 3](#).

Área Afectada

En la [Tabla 1](#) aparecen los municipios de la provincia de Cienfuegos donde fueron detectados focos de calor por los satélites, durante el período de observación 2001-2016 además de la cantidad de píxeles afectados por focos de calor y el área que representan.

Tal y como se había planteado antes, los 8 municipios de la provincia fueron afectados por focos de calor, aunque no en la misma medida. En el municipio Cumanayagua, el de mayor área en la provincia, los píxeles de incendio suman 440 representando un área de 420.5 km². Este es un territorio eminentemente agrícola con extensas áreas dedicadas a la ganadería, los cítricos y los cultivos varios; además de tener extensas áreas de recursos forestales ubicados en su mayor parte en la zona montañosa del mismo.

Los municipios de Aguada de Pasajeros, Rodas, Lajas y Abreus suman cada uno 300 píxeles afectados por focos de calor. Estos territorios se caracterizan en primer lugar por ser junto a Cumanayagua los de mayor extensión superficial, además de que en ellos predominan las áreas cañeras, de ganadería y de cultivos varios.

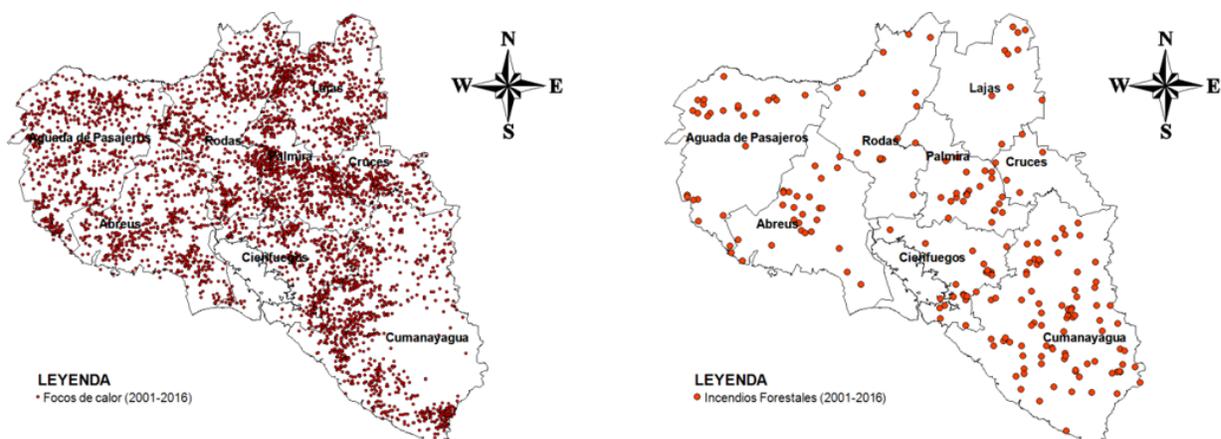


Figura 2. Distribución de focos de calor (izquierda) e incendios forestales (derecha) en el período 2001-2016 en la provincia Cienfuegos.

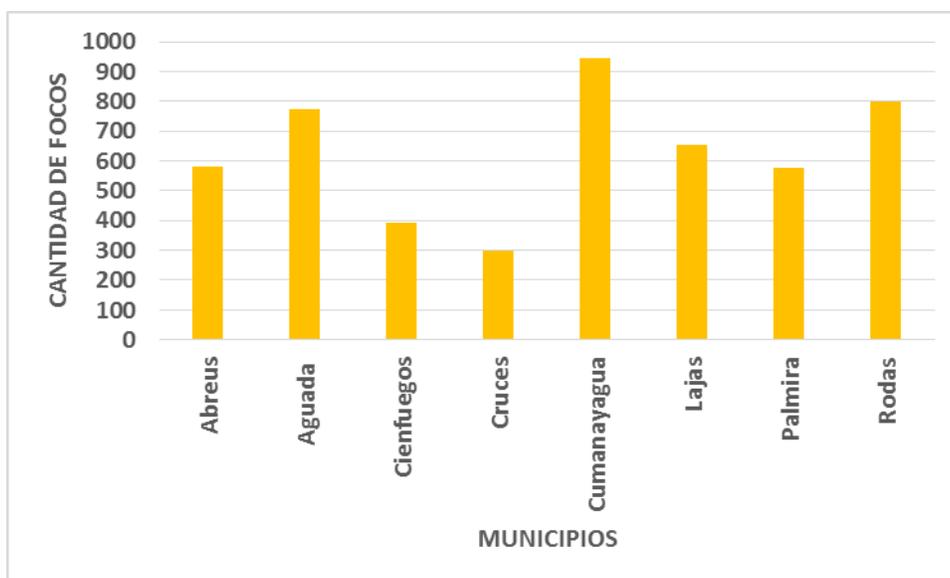


Figura 3. Total de Focos de calor por municipios en el período 2001-2016 en la provincia Cienfuegos.

Tabla 1. Cuadrículas con focos y áreas afectadas en ha y km² en el período 2001-2016. Provincia Cienfuegos.

Municipios	Cuadrículas con Focos	ÁREA (ha)	ÁREA (km ²)
Abreus	314	30394.6	303.9
Aguada de Pasajeros	385	37299.0	373.0
Cienfuegos	187	17394.2	173.9
Cruces	137	12226.0	122.3
Cumanayagua	440	42045.9	420.5
Lajas	298	27697.4	277.0
Palmira	227	21656.5	216.6
Rodas	378	35251.5	352.5

Asimismo, los municipios de Aguada de Pasajeros, Rodas y Abreus presentan extensas áreas de interés forestal.

La [Figura 4](#) muestra gráficamente la dinámica de comportamiento de las áreas afectadas por municipios. Palmira, Cienfuegos y Cruces, los de menor extensión espacial en el territorio, son los que presentan la menor cantidad de píxeles de incendios que representan áreas inferiores a los 250 km².

El porcentaje que representan las áreas afectadas de cada municipio con respecto al área total afectada de la provincia Cienfuegos se muestra en la [Figura 5](#). Los municipios de Cumanayagua, Aguada de Pasajeros y Rodas acumulan el 50 % de las áreas afectadas por puntos de calor en la provincia. Le siguen en orden los municipios de

Lajas y Abreus que presentan valores similares y por último los municipios más pequeños Palmira, Cienfuegos y Cruces tienen cada uno menos del 10 % del área afectada total en la provincia.

Si un análisis similar se realiza, pero tomando en cuenta la relación área afectada vs área total de cada municipio, [Figura 6](#), se puede observar que el comportamiento cambia completamente porque se observa que uno de los municipios con menor área afectada, Palmira, presenta más del 70 % de su territorio afectado por focos de calor, seguido por Cruces, Lajas y Rodas con más del 60 % del área afectada, lo cual quiere decir que hay una mayor densidad en los reportes de focos de calor y que la vigilancia en la temporada de incendio prácticamente debe estar orientada a todo el territorio. Por el contrario, en los municipios de

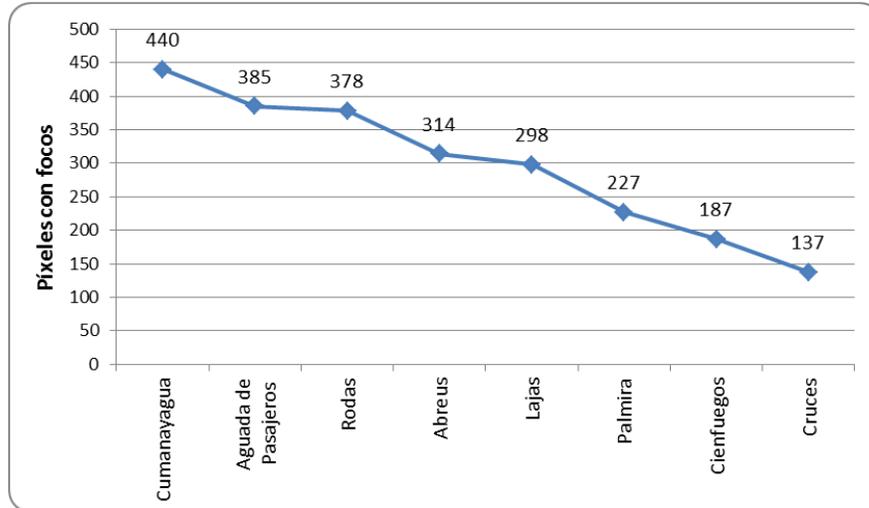


Figura 4. Dinámica de comportamiento cantidad de áreas afectadas por municipios en la provincia Cienfuegos

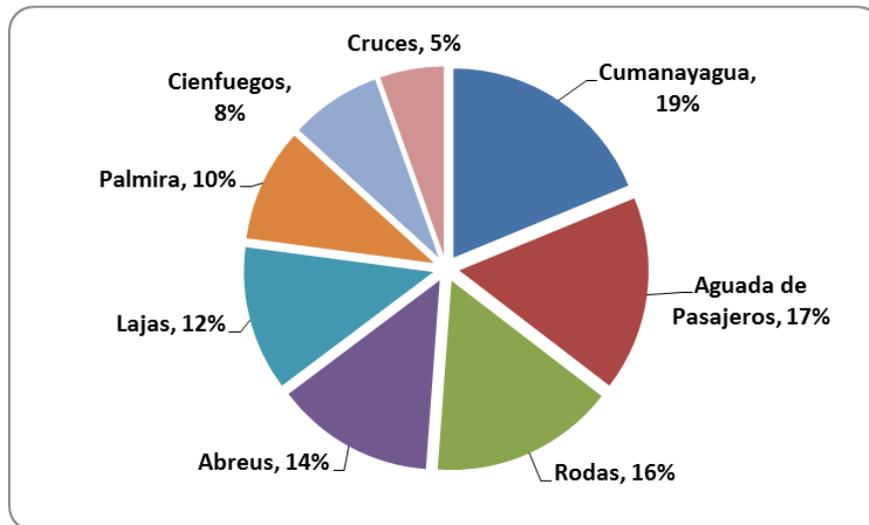


Figura 5. Porcentaje que representa el área afectada de cada municipio con respecto al área total afectada de la provincia Cienfuegos.

Aguada de Pasajeros y Cumanayagua a pesar de ser los de mayor área afectada en la provincia en ellos se afecta menos del 60 % de su territorio pudiendo concentrar los esfuerzos de la vigilancia y la alerta temprana en las zonas de mayor concentración de focos de calor.

El municipio Cienfuegos coincide en ser uno de los de menor área afectada y menor valor porcentual con respecto al área del municipio, [Figuras 5 y 6](#). En este caso es el territorio con menor área agrícola de la provincia ya que en él se encuentra enclavada la ciudad de Cienfuegos por lo que presenta un mayor porcentaje de urbanización.

La distribución espacial de las áreas afectadas por focos de calor en la provincia muestra que en la mayor parte de la misma se han reportado focos de calor con excepción de las zonas más altas de la zona montañosa del macizo Guamuhaya perteneciente al municipio de Cumanayagua como ya se explicó anteriormente, [Figura 7](#).

Uso del Suelo

En Cuba, el principal riesgo de incendios en la vegetación se localiza en las áreas de bosques naturales, plantaciones forestales y en áreas no forestales entre las que se encuentran, plantaciones cañeras, pastos (cuencas ganaderas) y comunidades

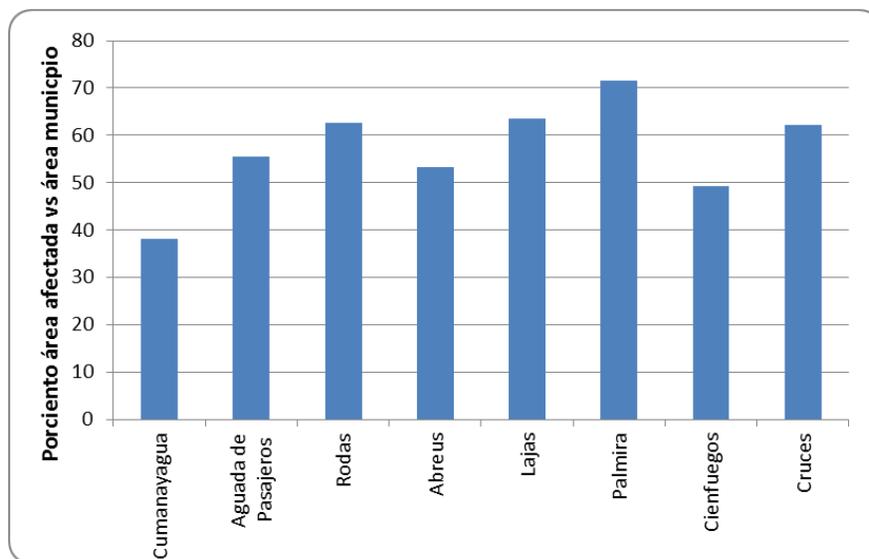


Figura 6. Porcentaje de área afectada con respecto al área total de cada municipio. Provincia Cienfuegos

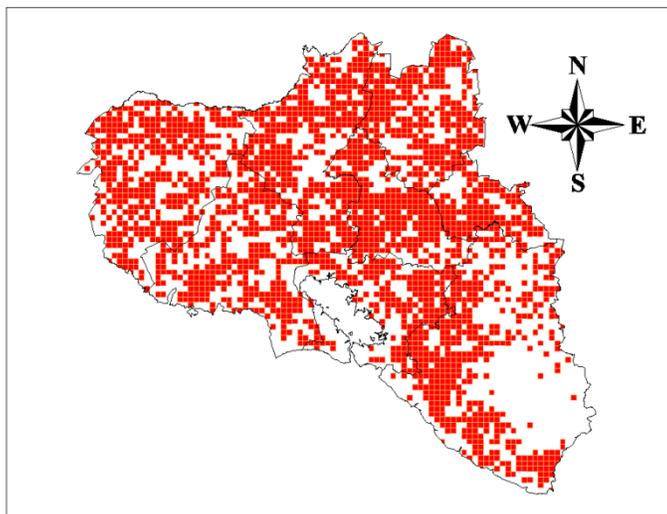


Figura 7. Distribución espacial de las áreas afectadas por focos de calor en la provincia Cienfuegos en el período 2001-2016.

herbáceas, donde pueden ocurrir focos de incendios por quemaduras no controladas o inducidas por personas que violan las medidas de seguridad.

En el caso de la provincia Cienfuegos en el período estudiado el 83 % de los focos se ubicaron en zonas de pastos y forrajes, áreas ociosas o deficientemente explotadas, caña de azúcar, superficie de uso forestal y zonas dedicadas a los granos, tubérculos y raíces, [Figura 8](#).

La caña de azúcar en la provincia Cienfuegos representa el mayor porcentaje de las áreas agrícolas de la misma. La quema antes de la cosecha de la

caña de azúcar y posterior requema son prácticas muy extendidas en los trópicos. Estas se usan para la eliminación de la cobertura vegetal, el control de malezas, la disminución del material seco y reducción de los costos de cosecha, así como para eliminar los residuos sobrantes y acelerar la preparación del suelo y replantación. No obstante, estas quemaduras ocasionan la destrucción de materia orgánica y pérdida de la estructura del suelo por un mayor desecamiento y erosión, especialmente en tierras con pendiente ([Castillo et al., 2007](#)).

La mayor cantidad de focos en áreas cañeras se corresponden con los municipios de Aguada de Pasajeros, Rodas, Palmira y Lajas donde están ubicados las principales Unidades Empresariales de Bases (UEB) cañeras del territorio, [Tabla 2](#).

En cuanto a la cantidad de focos en superficies de uso forestal, los municipios de Cumanayagua y Aguada de Pasajeros son lo que presentan los mayores valores, [Tabla 2](#). Estos territorios se corresponden con los de mayores áreas con cobertura forestal en la provincia con 32.2 y 11.6 ha respectivamente ([ONEI, 2015](#)).

Focos de calor e Incendios Forestales en la provincia Cienfuegos

Al relacionar la serie de focos de calor con la cantidad de incendios forestales reportados en la provincia Cienfuegos en el período 2001-2016 se observa que a pesar de no haber una correspondencia exacta entre las dos, sí se observa un comportamiento muy similar, coincidiendo los

aumentos en la cantidad de incendios con los años de mayor reporte de focos de calor, [Figura 9](#). Esto lo demuestra el coeficiente de correlación entre las dos series de 0.65 considerado significativo estadísticamente ($\alpha=0.01$).

En Cuba, cerca del 90% de las causas de los incendios forestales, están relacionadas con la actividad humana, principalmente con la negligencia y esta a su vez estrechamente relacionada con el desconocimiento de las condiciones meteorológicas y estado de la vegetación que son propicias al surgimiento y rápida propagación de los incendios ([Mejías et al., 2013](#)). Además, como ya se ha planteado antes, la presencia de un foco no significa necesariamente la presencia de un incendio, sino que en ese lugar las temperaturas del terreno son más altas que en los alrededores.

En el periodo analizado se reportaron en la provincia 283 incendios forestales, de ellos fueron

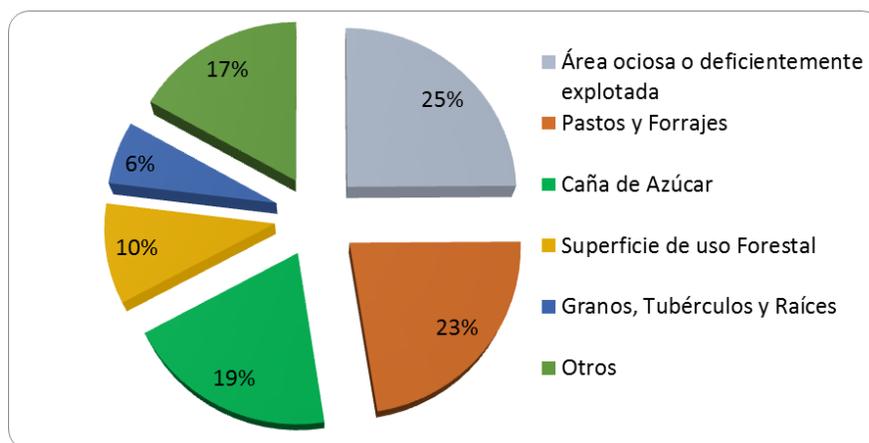


Figura 8. Distribución de los focos de calor por categorías de uso del suelo en la provincia Cienfuegos en el período 2001-2016.

Tabla 2. Cantidad de focos de calor por diferentes usos del suelo en el período 2001-2016. Provincia Cienfuegos.

Uso del Suelo	Abreus	Aguada de Pasajeros	Cienfuegos	Cruces	Cumanayagua	Lajas	Palmira	Rodas
Caña de Azúcar	58	126	48	63	1	224	214	250
Superficie de uso Forestal	50	96	53	10	215	22	20	26
Pastos y Forrajes	132	231	113	84	255	103	58	159
Area ociosa o deficientemente explotada	189	157	64	43	328	158	124	186
Granos, Tubérculos y Raíces	29	13	13	43	46	52	62	54

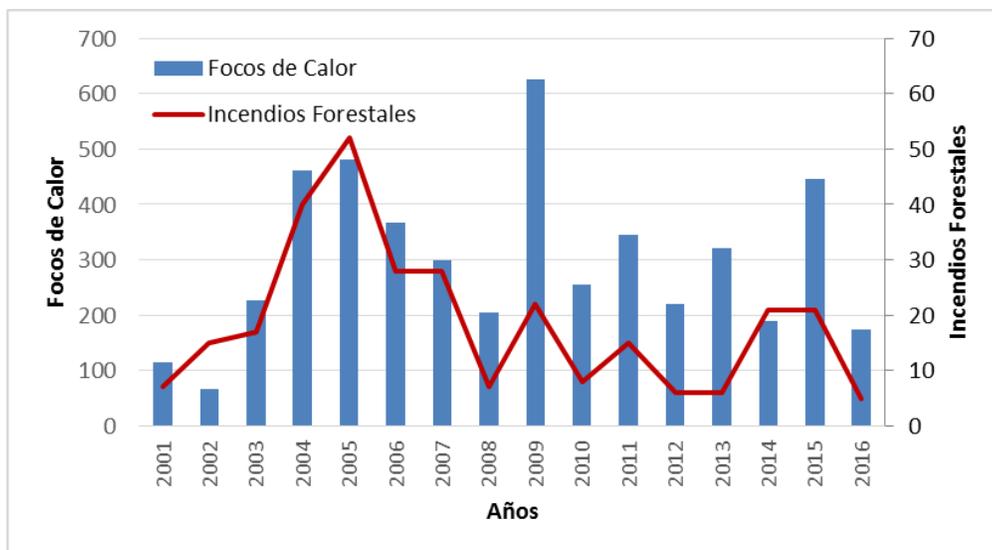


Figura 9. Comportamiento anual de focos de calor y cantidad de incendios en la vegetación. Provincia Cienfuegos, período 2001-2016.

identificados por los focos de calor 68 lo cual representa solo un 24%. La mayor efectividad se logró en los años 2014, 2010, 2006, 2013 y 2015 con valores superiores al 30%, [Tabla 3](#). No obstante, si se realiza este análisis extrayendo los incendios forestales ocurridos en la zona montañosa (51), por encima de los 500 metros sobre el nivel medio del mar donde no se han reportado focos de calor el por ciento de efectividad sube a un 30 %.

Los días con incendios reales detectados, pero sin focos reportados (error de omisión), en el caso de la detección satelital, no quiere decir necesariamente mal funcionamiento de los sistemas de vigilancia satelitales. En teoría, la omisión puede venir dada o bien porque el incendio es muy pequeño para ser detectado por el sensor, o bien muy corto en el tiempo para estar activo en el momento de pasar el satélite ([Chuvieco et al., 2012](#)). En estos casos la no detección también puede estar relacionada con la presencia de nubes en el momento de la observación o a la eficiencia del algoritmo empleado, presencia de obstáculos, como elevaciones, que limitan o impiden al satélite realizar la detección del foco existente.

De allí la necesidad de efectuar, durante el trabajo operativo el análisis complementario y validación de la información que brinda el satélite, consistente en la evaluación de las condiciones

meteorológicas en general y especialmente de la nubosidad, así como de la comparación de la información propia con la que brindan otras fuentes que emplean algoritmos de detección diferentes ([Mejias, 2009](#)).

El análisis por satélites mostró que el que más identificó incendios forestales fue el Aqua-MT con 48 lo cual representa el 17% con respecto del total de incendios forestales ocurridos (283) y el 69.6% con respecto al total de incendios identificados (68) por los satélites, [Tabla 4](#). El sensor MODIS a bordo del satélite Aqua incluye bandas específicas para la detección de incendios, lo que ha permitido reducir sensiblemente los errores de detección ([Giglio et al., 2003](#); [Justice et al., 2002](#)).

De los 283 incendios forestales ocurridos, la mayor parte (158) tuvieron una afectación inferior a las 5 ha, de ellos 33 fueron identificados por focos de calor representando un 20.9%, [Tabla 5](#). Como se puede ver, la efectividad en la detección de incendios a través de los satélites aumenta a medida que los incendios son mayores. Por ejemplo, los incendios superiores a las 100 ha fueron 15 y de ellos 9 fueron detectados por focos de calor representando un 60%, [Tabla 5](#).

Del análisis realizado se puede concluir que los puntos de calor son buenos descriptores de los incendios forestales medios y grandes ocurridos en la provincia Cienfuegos, pero no describen

adecuadamente la ignición. Por un lado, apenas recogen incendios de tamaño pequeño y por otro, muchos focos de calor pueden referirse al mismo incendio si es suficientemente grande y extenso en el tiempo. Resultados similares han sido obtenidos en el área del Mediterráneo por [Chuvieco et al. \(2012\)](#).

Está demostrado que la dinámica de surgimiento de los incendios en la vegetación está

estrechamente relacionada con la hora del día. Según refiere la bibliografía especializada, así como los especialistas vinculados con el enfrentamiento a los incendios, el horario del mediodía y las horas de la tarde son las de mayor frecuencia de origen de los incendios ([Mejías, 2009](#)).

En el período de estudio, [Tabla 6](#), la mayor parte de los incendios forestales se iniciaron entre las

Tabla 3. Cantidad de incendios forestales identificados por los satélites meteorológicos en el período 2001-2016. Provincia Cienfuegos.

Año	Incendios Forestales	Identificados x focos de Calor	%
2001	7	2	28.6
2002	15	1	6.7
2003	17	3	17.6
2004	40	12	30.0
2005	52	14	26.9
2006	28	10	35.7
2007	28	3	10.7
2008	7	0	0.0
2009	22	2	9.1
2010	8	3	37.5
2011	15	4	26.7
2012	6	0	0.0
2013	6	2	33.3
2014	6	5	83.3
2015	21	7	33.3
2016	5	0	0.0
Total	283	68	24

Tabla 4. Satélites meteorológicos que identificaron incendios forestales en el período 2001-2016. Provincia Cienfuegos.

Satélite	Incendios Forestales Identificados	% con respecto al total de incendios forestales (283)	% con respecto al total de incendios identificados (68)
AQUA-MT	48	17.0	69.6
AQUA-MX	3	1.1	4.3
TERRA-MT	21	7.4	30.4
TERRA-MM	19	6.7	27.5
ATSR-2	2	0.7	2.9
GOES-12	2	0.7	2.9

Tabla 5. Relación entre el área de los incendios forestales reportados y los focos de calor en el período 2001-2016. Provincia Cienfuegos.

Área	Total Incendios Forestales	Identificados x focos de Calor	%	Número medio de focos de calor x incendio detectado
< 5ha	158	33	20.9	1.7
5-10 ha	40	9	22.5	2.6
10-20 ha	35	9	25.7	1.4
20-50 ha	26	6	23.1	1.6
50-100 ha	9	3	33.3	1.3
> 100 ha	15	9	60.0	2.7

Tabla 6. Relación entre la hora de los incendios forestales reportados y los focos de calor en el período 2001-2016. Provincia Cienfuegos.

Hora	Total Incendios Forestales	Identificados x focos de Calor	%
5:00 - 10:00	20	4	20.0
10:00 - 15:00	140	36	25.7
15:00 - 20:00	101	22	21.8
más 20:00	22	7	31.8

10:00 am y 8:00 pm. Este período coincide con el horario de mayores temperaturas, mayor tráfico de vehículos y mayor movimiento de personas. En la misma también se observa que en estos horarios aumenta la efectividad en la detección de estos fenómenos por los satélites, ya que el 85 % de los incendios detectados por los satélites se iniciaron en estos horarios.

Como ya se explicó, en ocasiones se conoce de un incendio y no se corresponde con la localización del foco de calor ya que existen imprecisiones en la localización de este que en el mejor de los casos es cerca de 1 km, pero puede llegar a ser de 6 km. Trabajos de validación realizados por el INPE indican que el error medio de localización del foco es de aproximadamente 400 m con una desviación estándar de 3 km (INPE, 2014). El análisis realizado en la provincia Cienfuegos en el período 2001-2016 mostró que el error medio de localización del foco con respecto a cada incendio forestal reportado en el período fue de 2.9 km con una desviación estándar de 2.1 km.

Los resultados obtenidos confirman que la información satelital puede ser utilizada con confianza en labores de investigación y de servicios de detección y vigilancia de incendios forestales contribuyendo a disminuir los impactos negativos que ocasionan los incendios a la economía, la sociedad y el medio ambiente.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que en la zona montañosa del municipio de Cumanayagua, a pesar de ser la más afectada por los incendios forestales, se detectan muy pocos focos de calor, debido a las características de la topografía del terreno, las condiciones de la vegetación y las características de los incendios que en ella ocurren.

Es por esto que, en esta zona de la provincia los sistemas de vigilancia en tierra deben ser más eficientes pues la vigilancia a través de focos de calor aporta muy poca información.

Por el contrario, en las zonas de cultivos, los sistemas de vigilancia apoyados en la detección de focos de calor puede ser una herramienta muy útil. En la provincia de Cienfuegos el 79 % de los focos reportados se ubican en zonas de pastos y forrajes, áreas ociosas o deficientemente explotadas, caña de azúcar y zonas dedicadas a los granos, tubérculos y raíces.

La verificación de los focos de calor a partir de los incendios forestales detectados en tierra muestra que solo el 24 % de estos es reconocido por los satélites. A pesar de esto, se considera que los resultados alcanzados constituyen una valiosa información para el uso, manejo y lucha contra el fuego en la provincia Cienfuegos. Además sientan las bases para acometer nuevos estudios e investigaciones relacionadas con el tema, pero que incluyan información de incendios en otras coberturas vegetales que en ocasiones resultan más numerosas que los mismos incendios forestales.

REFERENCIAS

- Barcia, S.; Fontes, M. y Viera, E. Y. 2018. "Comportamiento temporal de los focos de calor detectados por satélites en la provincia de Cienfuegos". *Revista Cubana de Meteorología*, 24(3): 324-334, ISSN: 0864-151X.
- Castillo, A.; Milanés, N.; Rodríguez, D. A.; Aguilar, N.; Ordóñez, P. y Lozano, F. 2007. "Impacto de la quema de caña de azúcar sobre el N en suelos de la región Veracruz Central, México". *Revista Cuba & Caña*, pp. 7-12.

- Chuvieco, E.; Cifuentes, Y.; Hanstson, S.; López, A.; Ramo, R. y Torres, J. 2012. "Comparación entre focos de calor MODIS y perímetros de área quemada en incendios mediterráneos". *Revista de Teledetección* 37: 9-22, ISSN: 1988-8740.
- Figueredo, M. y González, R. 2007. "Los incendios forestales en Cuba". *Revista Agricultura Orgánica*, 2007(1):46.
- Giglio, L.; Descloitres, J.; Justice, C. O. y Kaufman, Y.J., 2003. "An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS". *Remote Sensing of Environment*, 87:273-282.
- INPE, 2014. Monitoramento de Queimadas em Tempo Quase-Real do INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Brasil. Available: Available: <http://www.inpe.br/queimadas/> , [Consulted: March 1, 2017].
- Justice, C. O.; Townshend, J. R. G.; Vermote, E. F.; Masuoka, E.; Wolfe, R. E.; Saleous, N.; Roy, D. P. y Morisette, J. T. 2002. "An overview of MODIS Land data processing and product status". *Remote Sensing of Environment* , 83:3-15.
- Mejías, E.; Vásquez, R.; Labastida, L.; Sánchez L. y Stable, Y. 2009. Estudio del comportamiento temporal y espacial de la ocurrencia de incendios en la vegetación a partir de datos generados por el satélite GOES para Cuba. Informe Científico Técnico Proyecto No. 4092: Estudio de la ocurrencia de incendios en la vegetación y su relación con el comportamiento de las condiciones agrometeorológicas en Cuba. INSMET, La Habana, Cuba. 44 p.
- Sinaí Barcia Sardiñas. Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba. E-mail: sinai@cfg.insmet.cu
- Marilyn Fontes Leandro. Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba. E-mail: marilyn@cfg.insmet.cu
- Endris Yoel Viera González. Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba. E-mail: endris@cfg.insmet.cu
- ONEI, 2015. Anuario Estadístico de Cuba 2014. Edición 2015. Available: Available: <http://www.onei.cu/aec2014/00%20Anuario%20Estadistico%202014.pdf> , [Consulted: November 8, 2016].
- Perlavisión, 2016. Incendios forestales provocan pérdidas en Cienfuegos. Available: Available: <http://www.perlavision.cu/incendios-forestales-provocan-perdidas-en-cienfuegos/> , [Consulted: November 10, 2016].
- Rodríguez, 2012. "Cartografía multitemporal de quemas e incendios forestales en Bolivia: Detección y validación post-incendio". *Ecología en Bolivia* 47(1): 53-71, ISSN 1605-2528.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)