

AP-006

DETECCIÓN DE INCENDIOS CON SATÉLITES EN ÁREAS PROTEGIDAS DE CUBA.

Eva Mejías Sedeño¹, Alberto W. Setzer², Yohadne Stable Sánchez¹

¹Instituto de Meteorología (INSMET). Ciudad Habana. Cuba. eva.mejias@insmet.cu

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). San José dos Campos, S P. Brasil. alberto.setzer@cptec.inpe.br

INTRODUCCIÓN

Las áreas protegidas han constituido, desde hace más de un siglo, una de las formas más difundidas de preservar, para las generaciones presentes y futuras, lo más valioso del patrimonio natural de cada país, insertándose cada día más como un componente de la planificación regional y el ordenamiento ambiental.

Cuba cuenta con un Sistema Nacional de Áreas Protegidas que cuenta en el país con 253 zonas de significación nacional y local. Cada año, muchas de ellas, son impactadas severamente por incendios, dejando tras sí una estela de daños en su valor y utilización, así como, perjuicios importantes al medio ambiente, la economía y la sociedad.

Las imágenes captadas por sensores remotos a bordo de satélites constituyen una herramienta de bajo costo para la **detección y vigilancia** de incendios en la superficie terrestre y por tanto son sumamente útiles para el enfrentamiento de estos siniestros. Los datos e informaciones que se generan son también ampliamente utilizados en la realización de estudios e investigaciones del fenómeno a cualquier escala. Todo lo cual aporta informaciones muy valiosas para la toma de decisiones por parte de los estrategas de la lucha contra el fuego, la prevención y el combate.

En el año 2003, como resultado de un trabajo de cooperación científico-técnica entre el Instituto de Meteorología (INSMET) de Cuba y el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de Brasil, se diseñaron y fueron ejecutadas las primeras acciones que dieron lugar a la implementación, para Cuba, del "Sistema brasileño "QUEIMADAS" a través del cual se realizan, de forma automatizada y operativamente tareas de detección, monitoreo y pronóstico de peligro de incendios en la vegetación, con el empleo de la percepción remota satelital. (Mejías, E; R. Vázquez; M. Peñate; R. Casals; T. Keibavu; L. Lavastida; J. Leiva y J. Pérez, 2005).

Con su puesta en marcha se ha logrado implementar un sistema de trabajo conciso y permanente que permite, realizar la detección temprana y vigilancia de los incendios desencadenados en cualquier punto de la geografía cubana, en tiempo real y sobre cualquier tipo de vegetación.

A partir del año 2004 quedó implementado en el sistema "Queimadas" el "Sistema de avisos y alerta temprana de incendios en áreas protegidas de Cuba". Toda la información que genera el sistema al respecto es difundida, permanente, mediante tablas informativas y mapas interactivos que pueden ser consultadas y visualizadas a través de Internet en el portal "Banco de datos de incendios en unidades de conservación" ([BD UConservación](#)) a cargo de la División de Procesamiento de Imágenes ([DPL](#)) del INPE.

Este portal funge a la vez como un banco de datos geográficos que almacena permanentemente informaciones de focos de incendios y contiene, además del mapas de las áreas protegidas de Cuba (CNAP 2003) otras informaciones cartográficas de Cuba (GEOCUBA 2003) de interés para el combate a los incendios, imágenes de la superficie terrestre generadas por diferentes satélites, etc. Por lo que fácilmente la información de focos de incendios pueda ser integrada, para su visualización a informaciones cartográficas y de geolocalización por lo que constituye a la vez un SIG.

En marzo de 2004 se inició la generación y envío de correos automáticos con avisos de alertas de fuegos detectados en áreas protegidas y constituye una de las formas fundamentales de difundir dicha información para Cuba.

Todos los datos que genera el sistema, además de poder ser visualizados y consultados pueden ser exportados en diferentes formatos, a partir de las cuales los usuarios pueden desarrollar sus propias aplicaciones.

Considerando todo lo anteriormente expresado y que a través del sistema "Queimadas" se han monitoreado 6 temporadas de incendios con satélites (2004-2009) sobre el territorio cubano, durante las cuales se ha generado abundante información útil y necesaria para el análisis del fenómeno, el objetivo principal del presente trabajo consistió en realizar un análisis del comportamiento de los incendios detectados con satélites, en áreas protegidas de Cuba durante dicho período.

MATERIALES Y METODOS

Se emplearon datos procedentes de las detecciones realizadas sobre áreas protegidas de Cuba a partir del mes de marzo de 2004, con el satélite *GOES-12/Sensor I-M IMAGER* (Mejías y Setzer, 2004) al que posteriormente en julio de 2005 se adicionaron las detecciones con los satélites *TERRA/AQUA*, sensor MODIS con los cuales se garantiza mayor exactitud de geolocalización, frecuencia temporal elevada y cobertura espacial para todo el país (Mejías y Setzer, 2005). En el año 2007 se traspasó la operación del satélite *Goes12* al *Goes 10* y es el que permanece actualmente en operación.

Los GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*), son satélites de órbita geoestacionaria situados a una altura de 36,000 Km. El **Sensor I-M IMAGER**, poseen bandas espectrales en el visible y en el infrarrojo de onda corta, por lo que es ampliamente utilizado en labores de detección de incendios en la vegetación. Tiene alta resolución temporal y baja resolución espacial, su geometría de observación es constante, explora 3000 por 3000 kilómetros. Consigue obtener datos de la misma parte de la superficie de la tierra cada 15 minutos y sus datos son de rápida transmisión, por lo cual es posible detectar de forma inmediata un fuego cuando se inicia. (<http://www.gsfc.nasa.gov/>).

Los Satélites TERRA y AQUA, son parte de la *Earth Science Enterprise* de la NASA. Poseen órbitas con ciclo diario sincronizado, TERRA desciende a través del ecuador a las 10:30 de la mañana, hora local de la zona, mientras que AQUA asciende a través del ecuador a la 1:30 PM. Cada uno porta un sensor MODIS con 36 bandas espectrales que miden radiaciones en longitudes de onda desde el visible al infrarrojo termal. (21 bandas espectrales entre los 0,4-3,0 μm y 15 de 3 a 14,5 μm). Tiene canales diseñados específicamente para la detección de fuego.

La exactitud de geolocalización y las características radiométricas más convenientes permiten la elaboración de productos de mayor precisión sobre los fuegos activos y las áreas quemadas, conocer los ciclos diarios de los incendios en todas las regiones del planeta, velocidad de propagación así como obtener datos útiles para realizar la representación espacial de los fuegos. (<http://gofc-fire.umd.edu/index.asp>).

Las recepción de las imágenes empleadas, para su decodificación, preprocesamiento y generación de los focos de calor, es realizada por el INPE y la información transmitida permanentemente, en tiempo real, hacia el Instituto de Meteorología en Cuba, donde es empleada en labores de servicio operativo y archivada constituyendo una base de datos de incendios que cuenta con 6 años de información a partir de la cual se realizó el presente estudio.

Para la transmisión y difusión de las informaciones se utilizan como herramientas principales Tecnologías Informáticas y de Comunicaciones (TICs) de avanzada, que resultan fácilmente manejable por los usuarios, entre ellos los servicios de redes informáticas como Internet, correo electrónico, servidores remotos de datos geográficos, etc. Lo que posibilitado y facilitado la transmisión al INSMET y divulgación de la información en tiempo real.

Inicialmente, para la detección de fuegos activos empleando los satélites de órbita polar TERRA y AQUA, se empleó el algoritmo determinado por Setzer (2003). Posteriormente se pasó a emplear la información generada por la Universidad de Meryland, en los E.U. a partir de su propio algoritmo. En febrero de 2009 se incluyeron en el sistema las detecciones generadas por México.

Para la detección de incendios a partir de las imágenes Goes, se utiliza el algoritmo multiespectral "Queimada" desarrollado por Setzer W. A. y Yoshida C. M (2004). Es de significar que dada la distancia a que se encuentran estos satélites la sensibilidad del sensor, para la identificación de fuego, es menor que la de los satélites TERRA y AQUA, que circundan la tierra a menores alturas.

Se consideró, por tanto, como foco de calor o píxel de incendio, al píxel que presenta un comportamiento acorde con los parámetros establecidos, para la detección de fuegos, en los algoritmos empleados y las dimensiones de los píxeles, desde 1 Km, con los satélites TERRA/AQUA hasta 4 km, con Goes.

Se procesaron estadísticamente cientos de datos de focos de incendios detectados en áreas protegidas de Cuba y se efectuó el análisis de su comportamiento temporal y espacial solamente en áreas con afectaciones. Se generaron gráficos, tablas y mapas que contribuyeron a la mejor interpretar el comportamiento del fenómeno.

La integración de informaciones de incendios detectados, con información cartográfica y geolocalización, en un único ambiente, se realizó empleando, la tecnología de SIG, a partir de la cual se extrajo información contenida en los archivos Shape file exportados desde el sistema "Queimadas".

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

INCENDIOS EN ÁREAS PROTEGIDAS DE CUBA DETECTADOS POR LOS SATÉLITES GOES 10 Y 12.

Durante el período analizado, los satélites Goes 10 Y 12, detectaron incendios en 20 áreas protegidas de Cuba, las áreas afectadas según sus categorías de manejo, fueron, Áreas protegidas de recursos manejados (APRM), Parques Nacionales (PN), Reservas florísticas manejadas (RF), Refugios de Fauna (RF) y Reserva florística manejada (RFM), entre otras (Tabla 1).

Tabla 1: Áreas protegidas afectadas por incendios, durante el período 2004-2009. Detecciones Goes-10 y 12 para Cuba.

No	Áreas de conservación	Años					
		2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	APRM Reser. de la Biosfera Buena Vista			2			
2	APRM Reser. de la Biosfera Ciénaga de Zap.		10	5	3		1
3	APRM Reser. de la Biosfera Sierra del Rosario.			1			
4	RF Cayamas		1				
5	APRM Humed. de Cayo Rom. y norte de Camag.		1				
6	APRM Mil Cumbres		1				
7	PN Ciénaga de Zapata			9			
8	PN Desembarco del Granma			1			
9	RF Buena Vista		1				
10	RF Delta del Agabama			3			
11	RF Sierra de Bibanasi			6			
12	RF Tunas de Zaza			2			
13	RFM Cerro Miraflores	2	1				
14	RFM Escarpe de San Felipe		1	2			2
15	RFM Monte Caimanes		3	1			
16	RFM San Miguel del Junco		4	7			
17	RFMSabana de Santa Clara		1				
18	Sierra de contadores			1			
19	RF Sureste de El Inglés		2				
20	RF Delta del Cauto	2	4	4			

En la figura 1 se muestra la frecuencia multianual y cantidad de focos de incendios, detectados en áreas protegidas de Cuba durante el período analizado. Como se puede apreciar, la frecuencia de años con afectación por incendios, varió entre uno y cuatro años.

La mayor frecuencia se registró en el APRM Reserva de la Biosfera Ciénaga de Zapata, con 4 años con afectaciones, seguida de la RFM Escarpe de San Felipe y la RF Delta del Cauto, donde se detectaron incendios en tres de los 6 años estudiados. Con 2 años con presencia de incendios se encontraron las RFM Cerro Miraflores, Monte Caimanes y San Miguel del Junco. En el resto de las áreas se registraron focos, solo en 1 años del período.

Entre las áreas afectadas por incendios se destacan por la cantidad de focos, toda la zona de la Península de Zapata, donde en la APRM Reserva de la Biosfera Ciénaga de Zapata se registraron 19 focos, la mayor cantidad en el período, 9 focos en el PN Ciénaga de Zapata y 2 en la RF Sureste de El Inglés para un total de 30 focos en dicha zona. La RFM San Miguel del Junco y la RF Delta del Cauto registraron 11 y 10 focos respectivamente. En el resto de las áreas afectadas el total de focos osciló entre 6 y 1.

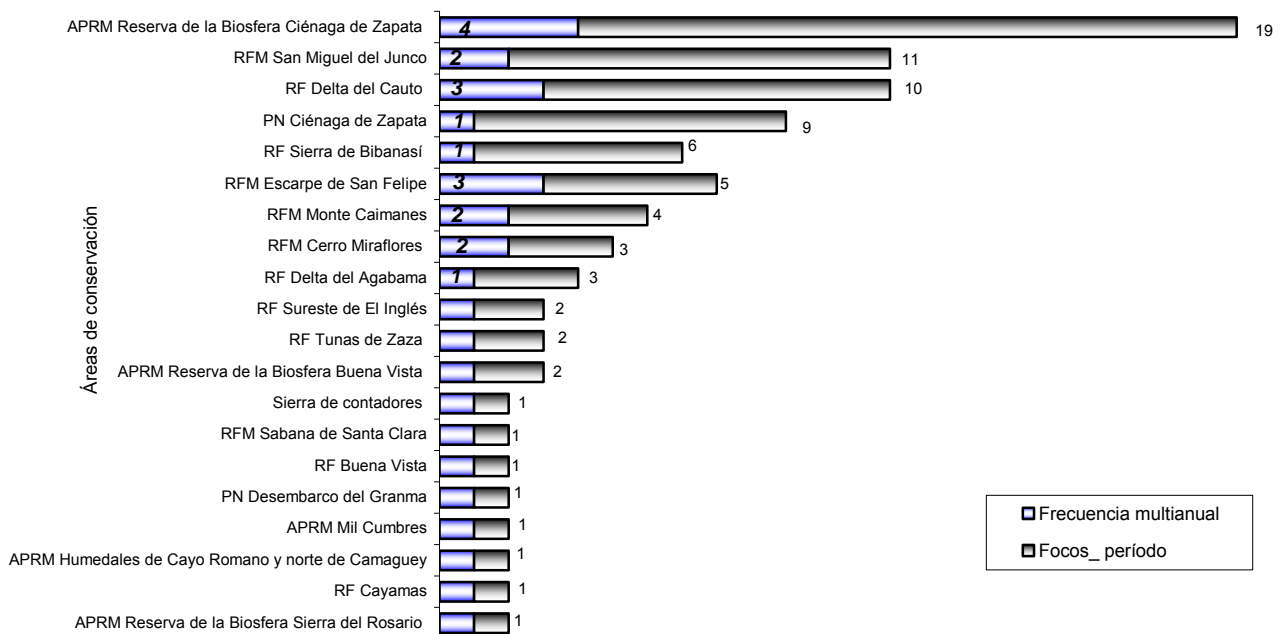


Figura 1: Frecuencia multianual y cantidad de focos de incendios detectados en áreas protegidas de Cuba. Período 2004-2009 por los satélites Goes 10 y 12.

En total en el período fueron detectados por los Goes 84 focos de incendios (Tabla 2). Por años se destacan el 2006 con 44 focos detectados en 13 áreas protegidas, seguido del 2005 con 30 focos en 12 áreas.

El 2004 año en que se inicia el sistema las detecciones con el Goes-12 para Cuba, solo alcanzó a detectar 4 focos (en octubre) en las áreas protegidas, RFM Cerro Miraflores y RF Delta del Cauto.

Tabla 2: Distribución anual de los focos de incendios detectados y cantidad de áreas protegidas afectadas. Período 2004-2009, satélites Goes 10 y 12.

Años	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Focos detectados	4	30	44	3	0	3	84
Áreas protegidas afectadas	2	12	13	1	0	2	-

En el 2007 como consecuencia del cambio de operaciones del satélite Goes 12 por el Goes 10 se produce un período de inestabilidad en el trabajo del sistema que incidió en el resultado de las detecciones, por lo que solo se llegaron a detectar 3 focos en el APRM Reserva de la Biosfera Ciénaga de Zapata entre los meses de febrero y marzo. Más esta situación no afectó la vigilancia ya que se encontraba para esa fecha operativa la detección con los satélites Terra y Aqua para Cuba, por lo que no se dejó de vigilar al país.

En el 2008 operando establemente el Goes 10, no se detectaron focos y en el 2009 hasta el mes de solo se habían detectado 3 focos en 2 áreas protegidas, APRM Reserva de la Biosfera Ciénaga de Zapata y en la RFM Escarpe de San Felipe.

INCENDIOS EN ÁREAS PROTEGIDAS DE CUBA DETECTADOS POR LOS SATÉLITES TERRA Y AQUA.

Con los satélites **Terra y Aqua** se detectaron incendios en 49 áreas protegidas de Cuba (Tabla 3). El sensor Modis registró focos, durante los años 2005-2009, en todas las categorías de áreas protegidas existentes, en el país, Parques Nacionales (PN), Reservas ecológicas (RE), Refugios de Fauna (RF), Reservas naturales (RN), Elementos naturale destacados (END), Áreas protegidas de recursos manejados (APRM), Reservas florísticas manejadas (RFM), Parques naturales protegidos (PN) y Paisajes naturales protegidos (PNP).

Tabla 3: Áreas protegidas afectadas por incendios, durante el período 2005-2009. Detecciones realizadas por los satélites Terra y Aqua.

No	Áreas de conservación	Años
----	-----------------------	------

		2005	2006	2007	2008	2009
1	PNP Guajaibón		1			
2	RFM Mataguá		1			
3	Monte Revacadero		1			
4	APRM Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario		1			1
5	Sierra de Contadores		1			
6	RFM Toscano-Cayo Alfiler		1			1
7	Valle del Yumuri		1			
8	APRM Humedales de Cayo Romano y norte de Camag.		2		1	1
9	APRM Reserva de la Biosfera Guanahacabibes		2			3
10	RF Sierra de Bibanasi		5			2
11	APRM Topes de Collantes		21	2		20
12	PN Ciénaga de Zapata		31	8	11	
13	APRM Reserva de la Biosfera Ciénaga de Zapata		46	126	14	24
14	RFM Arena Silice de Casilda			1		
15	RF Bermeja		4	1		2
16	RF Cayo Mono			1		2
17	PN La Bayamesa			1		1
18	Loma Tasajeras			1		
19	END Bellamar – Jarrito					2
20	END Boquerón (CA)					1
21	RFM Botinos					4
22	APRM Humedales del norte de Ciego de Ávila	3	9		8	2
23	Jobo Rosado					1
24	Monte Naranjito					1
25	Ojo de Agua - Guairajal					1
26	RFM Arenas Blancas de Tunas			3		
27	RF Bahía de Sagua de Tánamo y sus cayos				1	
28	RFM Cerro Miraflores				4	
29	RE Los Indios			2		5
30	Monte Caimanes			2		4
31	RFM Monte Grande					3
32	RFM Motembo			3	2	1
33	RE Parnaso - Los Montes				1	
34	APRM Reserva de la Biosfera Baconao		2	2		8
35	APRM Reserva de la Biosfera Buena Vista		18	1	1	6
36	APRM Reserva de la Biosfera Cuchillas del Toa					2
37	RFM San Miguel del Junco			2	2	6
38	Sur de la Isla de la Juventud		3	2		9
39	RF Sureste de El Inglés		4	1		1
40	Yaguanabo		2			2
41	RFM Escarpe de San Felipe				1	2
42	RF Delta del Cauto	1	4	13	14	8
43	La Cañada		5			2
44	RFM Sierra de Maraguán					1
45	RE La Coca					1
46	RFM Monte Cacarrata					1
47	PNP Cañón del río Canimar					2
48	PN Guanahacabibes					1
49	APRM Mil Cumbres					13

La frecuencia multianual y cantidad de focos de incendios detectados en áreas protegidas por los satélites Terra y Aqua, se muestran en la Figura 2.

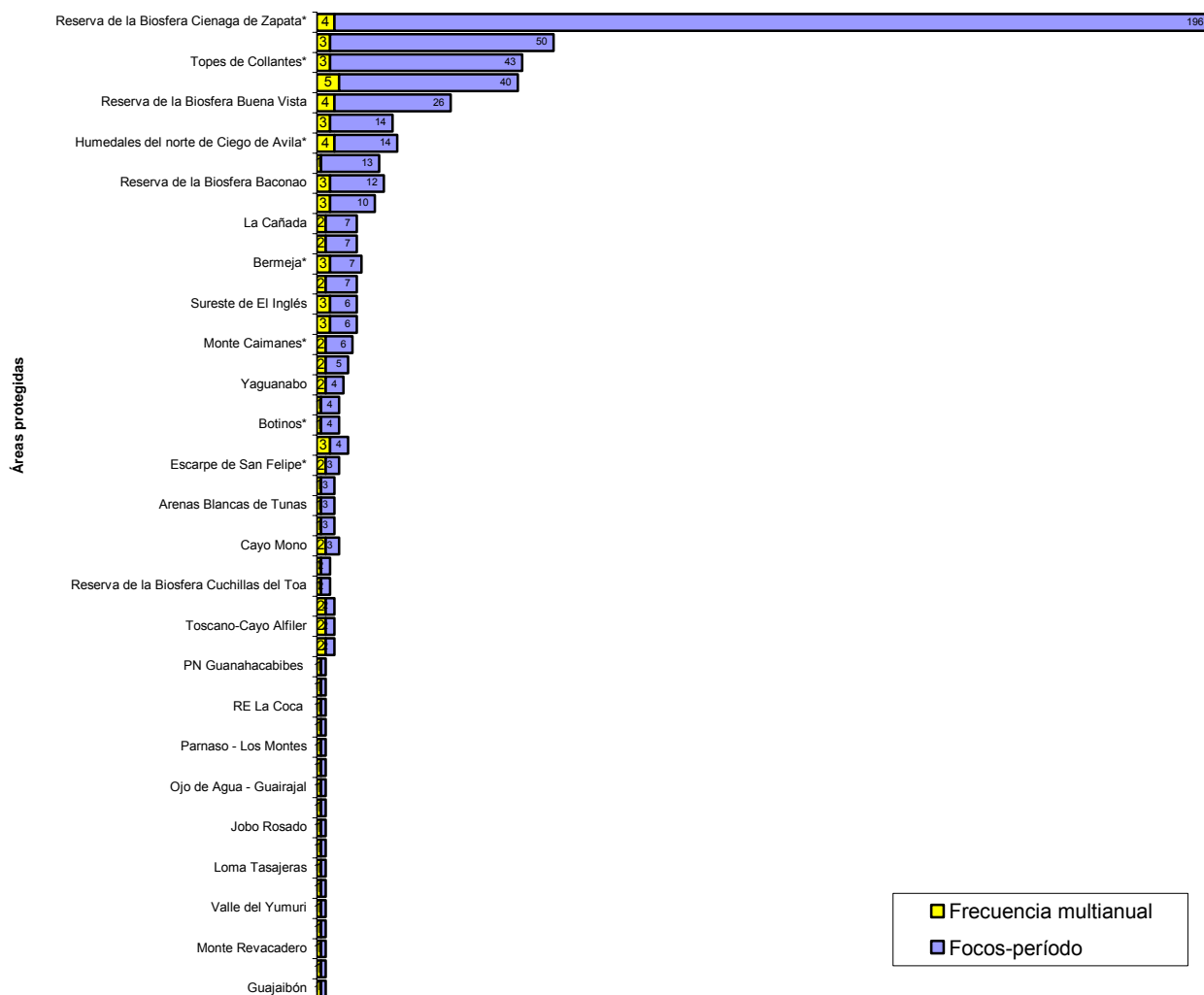


Figura 2: Frecuencia multianual y cantidad de focos de incendios detectados en áreas protegidas de Cuba. Período 2005-2009 por los satélites Terra y Aqua.

Como se puede apreciar, la frecuencia de afectación por incendios, varió entre uno y cinco años. La mayor frecuencia se registró en la RF Delta del Cauto con focos detectados en los 5 años observados por estos satélites, seguida de las APRM Reserva de la Biosfera Ciénaga de Zapata, Humedales del norte de Ciego de Ávila y Reserva de la Biosfera Buena Vista, donde se detectaron incendios en cuatro años del período. En el resto de las áreas los años con focos oscilaron entre 3 (en 8 áreas) y 1 foco.

En general el sensor Modis realizó considerablemente mayor cantidad de detecciones de focos de incendios que los Goes, dado por las mejores características técnicas que posee este satélite para realizar esta función.

La Península de Zapata se destaca entre las áreas más afectadas en el período. En esta zona solamente en la APRM Reserva de la Biosfera Ciénaga de Zapata se registraron 196 focos, la mayor cantidad en todo el periodo, a lo cual se suman 50 focos en el PN Ciénaga de Zapata, 6 en la RF Sureste de El Inglés y 7 en la RF Bermeja.

Cantidades significativas de focos de incendios se registraron en Topes de Collantes y el Delta del Cauto con 43 y 40 focos respectivamente. La Reserva de la Biosfera Buena Vista registró 26 focos, el Sur de la Isla de la Juventud y los Humedales del norte de Ciego de Ávila, registraron 14 focos cada una. En el APRM Mil Cumbres, la Reserva de la Biosfera Baconao y San Miguel del Junco se detectaron, 13, 12 y 10 focos respectivamente. En el resto de las áreas afectadas el total de focos osciló entre 10 y 1.

En total en el período fueron detectados por Terra y Aqua 527 focos de incendios (Tabla 4). El 2007 resultó ser el más drástico con un total de 172 focos en 18 áreas protegidas, seguido del 2006 con 165 focos en 22 áreas.

Tabla 4: Distribución anual de los focos de incendios detectados y cantidad de áreas protegidas afectadas. Período 2005-2009, satélites Terra y Aqua.

Años	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Focos detectados	4	165	172	60	147	527
Áreas protegidas afectadas	2	22	18	12	37	-

En julio del año 2005 fue el año de inicio de las detecciones las detecciones Modis para Cuba, por lo que resultó baja la detección con estos satélites, solo se observaron 4 focos en 2 áreas protegidas, Humedales del norte de Ciego de Ávila (julio) y Delta del Cauto (agosto).

El año 2008 resultó ser el de menor cantidad de focos detectados por Modis, después de la estabilización de estas detecciones, con 60 focos en 12 áreas y hasta mayo del presente año 2009 ha registrado 147 focos de incendios en 37 áreas protegidas.

En general, según reportes de todos los satélites empleados, durante el período de marzo de 2004 a mayo de 2009 han sido afectadas por incendios en Cuba un total de 55 áreas protegidas, distribuidas por todo el territorio nacional, lo cual se puede apreciar en la figura 3 donde aparece la distribución de los focos detectados en el período.

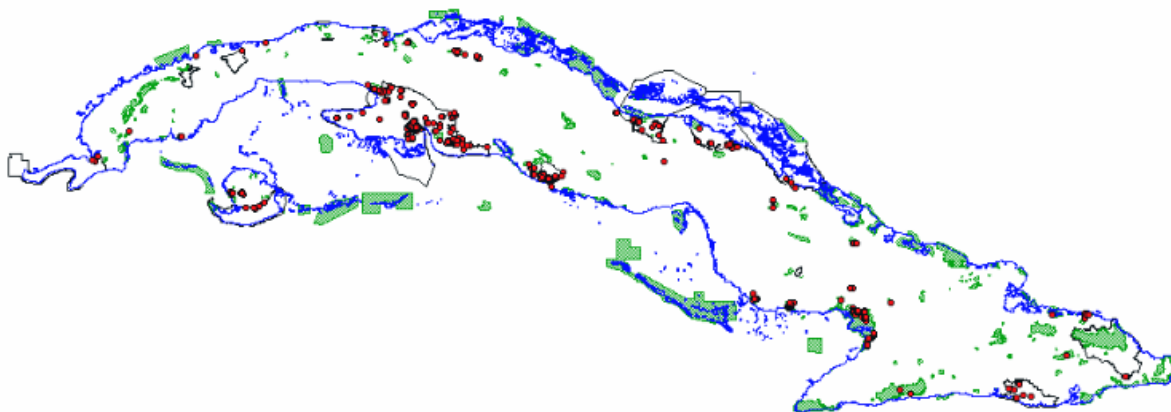


Figura 3: Distribución de los focos de incendios detectados en áreas protegidas de Cuba. Período 2004-2009. Satélites Terra/Aqua, Goes 10 y 12.

Durante todo el período, las áreas de mayores incidencias fueron la RF Delta del Cauto, donde se detectaron focos en los 6 años analizados. La RFM San Miguel del Junco y APRM Reserva de la Biosfera Ciénaga de Zapata fueron afectadas en 5 años. Siete áreas protegidas fueron afectadas en cuatro años. Seis áreas presentaron afectaciones en tres años. En 10 áreas fueron registrados focos en 2 de los años estudiados y en 29 áreas se registraron focos al menos en un año del período.

CONCLUSIONES

- Desde el año 2004 en que comenzó a operar el sistema “Queimadas” para Cuba y hasta la actualidad, las áreas protegidas de Cuba, no han dejado de ser vigilada, ni un día, por los satélites que conforman el sistema, con el objetivo de detectar incendios, por lo que se dispuso de información adecuada para la realización del análisis.
- Se observó una alta incidencia del fenómeno en las áreas protegidas del país al ser detectados focos de incendios en todos los años analizados por un satélite u otro y distribuidos por áreas ubicadas en cualquier región del territorio nacional cubano.
- Fueron afectadas por incendios en el período 55 áreas protegidas en un período de seis años y se observó una alta frecuencia de ocurrencia en la RF Delta del Cauto, La RFM San Miguel del Junco y APRM Reserva de la Biosfera Ciénaga de Zapata.
- Las áreas protegidas ubicadas en la Península de Zapata se caracterizaron por presentar alta incidencia de incendios y las mayores cantidades de focos de incendios en el período.

RECOMENDACIONES

Establecer las coordinaciones necesarias entre todos los organismos implicados en la atención a las áreas protegidas de Cuba, para comenzar a emplear las informaciones que genera el sistema como complemento del actual sistema de detección operativa de incendios y por concepto de información oportuna, contribuir a disminuir los daños que estos ocasionan.

BIBLIOGRAFIA

Centro Nacional de Áreas protegidas Cuba (CANAP) (2003). Mapa digital de Áreas Protegidas de Cuba.

División de procesamiento de imágenes (DPI). INPE. Disponible en: <http://www.dpi.inpe.br> Acceso en: 2004.

EOS. Herat Observing System. Code 420 Goddard Space Flight Center. Disponible en: (www.gsfc.nasa.gov/.../fact_sheets/general/gsfsc/goes.gif). Acceso en 2004.

GEOCUBA (2003). Base cartográfica digital oficial de Cuba.

GOFC/GOLD Fire Monitoring and Mapping Implementation Team. Disponible en: <http://gofc-fire.umd.edu/index.asp> [consulta: julio de 2005].

Mejías, E; R. Vázquez; M. Peñate; R. Casals; T. Keibavu; L. Lavastida; J. Leiva y J. Pérez (2005). Sistema de "Detección, vigilancia y pronóstico de peligro" de incendios forestales con el empleo de la percepción remota satelital. Informe científico-técnico final del proyecto de investigación No 4063. Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba.

Mejías, Eva; Setzer, Alberto. W. (2004). Detección y vigilancia de incendios en la vegetación para Cuba con el empleo del satélite GOES. XI Simposio Latinoamericano sobre Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (22-26 de noviembre de 2004 Santiago de Chile). [en línea]. Disponible en: www.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200502_vigeomatica_barcelona_mejias&setzer.pdf- y http://tucupi.cptec.inpe.br/queimadas/risc_cuba/queimap_cuba.html [consulta: julio de 2006].

Mejías, E; Setzer, A. (2005). Incorporación de los satélites *Terra/Aqua* sensor *Modis* al "Sistema de Detección y Monitoreo de incendios forestales con satélites para Cuba". Memorias, III Congreso Cubano de Meteorología. Ciudad de la habana, 5 al 9 de diciembre del 2005.

Setzer, W.A y Yoshida. M. C (2004). Detecção de queimadas nas imagens do satélite GOES-12. Versão 3.4. 03/Março/2004. DSA/CPTEC/INPE. [en línea]. Disponible en: http://www.cptec.inpe.br/products/queimadas/documentos/relat_goes.htm [consulta: julio de 2006].