

Detección Automática de Incendios Utilizando la Cámara HSTC abordo del Satélite SAC-C

Ramiro Alfredo Lucero

Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)
Av. Paseo Colón 751, (1063) Ciudad de Buenos Aires, Argentina
rlucero@conae.gov.ar
<http://www.conae.gov.ar>

Resumen El satélite SAC-C cuenta con la Cámara Tecnológica de Alta Sensibilidad (HSTC; High Sensitivity Technological Camera). Esta cámara permite obtener imágenes durante la noche detectando focos luminosos de muy baja intensidad, como por ejemplo, luces de ciudades y pueblos, rayos e incendios. En el siguiente trabajo se presenta un algoritmo para detectar automáticamente focos luminosos asociados a incendios. Este se basa en las características de la cámara HSTC, en combinación con productos generados a partir de datos del instrumento MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) abordo del satélite TERRA, aprovechando que este último se encontraba en constelación con el SAC-C. Datos MODIS también se utilizaron para la validación del algoritmo. Se lograron detectar incendios de un área superior a 1km^2 sobre la Argentina.

Palabras Clave detección automática - incendios - alta sensibilidad - HSTC - SAC-C - imágenes satelitales - focos luminosos

1. Introducción

La Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) posee un sector dedicado al área de emergencias ambientales, el cual trabaja con información satelital para la prevención, asistencia y recuperación de zonas afectadas. Dentro de las emergencias en las que se trabaja se encuentran: inundaciones, incendios, sequías y deslizamientos, entre otras. Particularmente, las inundaciones y los incendios son los fenómenos que con más frecuencia afectan a la Argentina. Dentro de lo que es el área referente a incendios, un uso importante de la información espacial es el monitoreo de zonas extensas de territorio, de manera de poder detectar rápidamente si ocurre un suceso y dar una alerta temprana.

Una forma de detectar incendios con imágenes satelitales es usando algoritmos que se basan en combinaciones de bandas térmicas, como los que se emplean con el sensor MODIS [1] abordo de los satélites TERRA y AQUA, y el sensor AVHRR [2] abordo de los satélites NOAA. Otro método es utilizando cámaras de alta sensibilidad para detectar incendios durante la noche, como se hace con la cámara OLS (*Operational Linescan System*), abordo de los satélites del *Defense Meteorological Satellites Program* (DMSP) [3].

Tomando como referencia el trabajo realizado con el DMSP, se desarrolló un algoritmo para detectar incendios usando la cámara HSTC abordo del satélite SAC-C.

2. Características de los Sensores y Productos

2.1. Cámara Tecnológica de Alta Sensibilidad (HSTC)

El instrumento HSTC está compuesto por dos cámaras con las mismas propiedades, ubicadas una al lado de la otra. Cada cámara cuenta con un arreglo de 2048 sensores. Se genera una imagen de 2048 columnas por cámara, teniendo una superposición de 18 columnas entre imágenes. Estas son luego procesadas para generar la imagen HSTC definitiva.

El procesamiento o pre-procesamiento HSTC, consta de los siguientes pasos principales:

1. Unión de las imágenes de ambas cámaras del instrumento, teniendo en cuenta su superposición.
2. Filtrado y corrección de sensores quemados o saturados en la imagen.
3. Aplicación de una máscara sobre el mar en territorio argentino y una máscara con los contornos continentales y costeros.
4. Generación de un archivo de georreferencia, con la información de latitud y longitud para una grilla de puntos de la imagen.

La imagen HSTC pre-procesada, junto con el archivo de georreferencia, son los datos que se usan para el algoritmo de detección de incendios.

Esta imagen tiene entonces 4078 columnas, con una resolución nominal por píxel de 240 metros. El ancho de barrido del instrumento es cercano a los 1000km y su rango espectral se encuentra entre los 450 y los 850nm. El error de georreferencia de los píxeles de la imagen varía entre 400 metros y 1km.

2.2. Productos MODIS

Los productos MODIS que se utilizan para el algoritmo son el de máscara de nubes o MOD35 [4,5] y el de georreferencia o MOD03 [6].

Del producto MOD03 se utilizan solamente los datos de latitud y longitud. Se cuenta con un dato de latitud y longitud para cada píxel de la imagen MODIS, y por lo tanto, para cada píxel de las máscaras de nubes del producto MOD35. El producto MOD35 tiene diferentes máscaras de nubes de 1km de resolución, cada una obtenida usando diferentes combinaciones de bandas térmicas [7].

La información de nubes de este producto viene contenida en una imagen de seis bandas de tipo de dato *byte*. De estas seis bandas se utilizan solo algunos datos de las bandas 1 y 3. En la Tabla 1 se muestra el formato de estas bandas.

Utilizando los bits 0, 1 y 2 de la Banda 1 podemos saber si los píxeles de la imagen MODIS, asociada a este producto, están cubiertos por nubes, y cuál es la confiabilidad de este dato. Hay cuatro tipos de máscaras de nubes principales:

Tabla 1. Interpretación de los campos de las bandas 1 y 3 del producto MOD35

Banda #1		
Bits	Descripción	Interpretación de los Bits
0	Indicador de Máscara de Nubes	0 = No Determinado, 1 = Determinado
1-2	Indicador de Calidad de Campo de Visión Despejado	0 = Nuboso Confiable, 1 = Probablemente Nuboso, 2 = Probablemente Despejado, 3 = Despejado Confiable
3	Indicador de Día/Noche	0 = Noche, 1 = Día
4	Indicador de Resplandor Solar (Sunglint)	0 = Sí, 1 = No
5	Indicador de Nieve/Hielo de Fondo	0 = Sí, 1 = No
6-7	Indicador de Tierra/Agua de Fondo	0 = Agua, 1 = Costa, 2 = Desierto, 3 = Tierra
Banda #3		
0	Indicador de Nube Alta (Prueba de 1.38 micrones)	0 = Sí, 1 = No
1	Indicador de Nube Alta (Prueba de 3.7-12 micrones)	0 = Sí, 1 = No
2	Máscara de Nubes (Prueba de Diferencias de Temperaturas IR)	0 = Sí, 1 = No
3	Máscara de Nubes (Prueba de 3.7-11 micrones)	0 = Sí, 1 = No
4	Máscara de Nubes (Prueba de Reflectancia Visible)	0 = Sí, 1 = No
5	Máscara de Nubes (Prueba de Relaciones de Reflectancia Visible)	0 = Sí, 1 = No
6	Máscara de Nubes (Prueba de Reflectancia .935/.87)	0 = Sí, 1 = No
7	Máscara de Nubes (Prueba de 3.7-3.9 micrones)	0 = Sí, 1 = No

Nuboso Confiable, Probablemente Nuboso, Probablemente Despejado y Despejado Confiable. La máscara a utilizar es la de Nuboso Confiable, o Nubosidad Confiable (bit 0 en uno, y los bits 1 y 2 en cero de la Banda 1). Esta máscara representa una cierta combinación de todas las pruebas de nubes realizadas con el algoritmo de MODIS. Analizando varios productos MOD35 se obtuvo que en muchas oportunidades los incendios son detectados como una nube de altura o cirrus. Por consiguiente, si se utilizara solamente la máscara de Nubosidad Confiable, se estaría enmascarando también parte, o la totalidad de los incendios (Fig. 1).

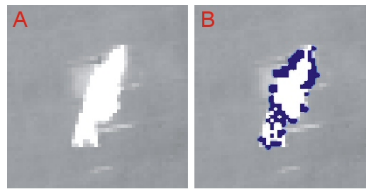


Figura 1. Detección de un incendio como nube confiable en el producto MOD35. En A se puede ver la banda térmica número 21 de MODIS ($3.929 - 3.989 \mu m$), donde se muestra un incendio de color blanco brillante. Esta región se encuentra despejada de nubes. En B, se ve en azul oscuro la máscara de Nubosidad Confiable superpuesta al incendio.

Para evitar esto, lo que se hace es utilizar la información del bit 1 de la Banda 3. Este bit corresponde a la máscara de nubes cirrus. Restándole esta

máscara a la de Nubosidad Confiable, se obtiene la máscara de nubes a utilizar en el algoritmo de incendios. De esta manera, se asegura de no confundir los incendios con nubes (Fig. 2).

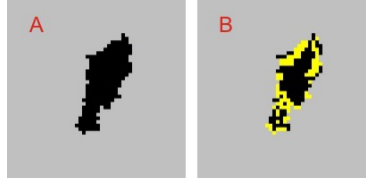


Figura 2. Corrección de la máscara de nubes MOD35 para la detección de incendios. En A se ve en negro la máscara de nubes cirrus para el caso del incendio de la Fig. 1. En B, se muestra en amarillo la máscara de Nubosidad Confiable contenida dentro de la máscara de nubes cirrus.

El no enmascarar los cirrus, en principio no afecta al algoritmo de incendios, ya que estas son nubes altas, finas y en general traslúcidas, las cuales no generan precipitaciones, ni rayos.

2.3. Mapa de Luces Estables

Es clave para el algoritmo de incendios contar con un mapa de luces estables georreferenciado, de manera de poder descartar de la imagen HSTC, las luces que no son generadas por rayos e incendios, ni reflejadas por nubes. Dentro de las luces estables se cuentan principalmente luces de ciudades y pueblos, pero también luces de excavaciones mineras en canteras expuestas, venteos de gas, y todo tipo de actividades nocturnas que sean repetitivas y generen radiación suficiente en el espectro electromagnético de la cámara HSTC.

Como base para este mapa, se utiliza el realizado con la cámara OLS del DMSP [8]. Este mapa tiene una resolución de 30 segundos de arco ($\sim 0,9\text{km}$ en el Ecuador) y se extiende desde los -180 a los 180 grados de longitud y desde los -65 a los 65 grados de latitud (Fig. 3). El rango del espectro electromagnético de la cámara OLS se encuentra entre los 400 y 1100nm , rango que incluye el captado por la cámara HSTC (450 a 850nm).

Para el algoritmo se utiliza un recorte del mapa del DMSP sobre la zona de Sudamérica, actualizado con información proveniente de imágenes HSTC.

2.4. Máscara de Agua/Tierra

Al querer detectar incendios es lógico buscarlos sobre tierra, ya que no tiene sentido hacerlo sobre el agua. Para no confundir luces de barcos, ni ruido en los mares y océanos con incendios, debemos utilizar una máscara de agua/tierra de forma de enmascarar las luces sobre el agua.



Figura 3. Mapa de luces estables DMSP. Se ve en color negro la distribución de luces estables para todo el planeta.

La resolución de la máscara de agua/tierra a utilizar es también de 30 segundos de arco, y abarca la misma zona que el mapa de luces estables (ver Sección 2.3). Se asigna el valor 0 a la tierra y el 1 al agua.

3. Algoritmo de Detección de Incendios

El algoritmo consta de diferentes partes. Partiendo de una imagen HSTC con cierto pre-procesamiento, se utilizan conjuntamente a esta el producto de nubes (MOD35) y el producto de georreferencia (MOD03) del sensor MODIS del satélite TERRA, con el fin de generar una máscara de nubes para la imagen HSTC. Luego se filtra el ruido y se detectan los focos luminosos dentro de la HSTC. Se enmascaran las nubes, el agua y las luces estables (ciudades, pueblos, etc.), utilizando para este último caso un mapa de luces estables. Los focos luminosos remanentes en el terreno son asociados a incendios. Para finalizar, se genera un listado con la posición central y área de los incendios, junto con un mapa marcando sus ubicaciones. Cada vez que se ejecuta el algoritmo se lleva un registro para generar luego estadísticas de dicho proceso, con el objetivo de actualizar y mejorar el mapa de luces estables.

3.1. Detección de Nubes

Como primer paso se debe generar la máscara de nubes para la imagen HSTC. Se cuenta con la máscara de nubes MODIS que describimos en la Sección 2.2 (Nubes Confiables menos los cirrus). El satélite TERRA, donde se encuentra la cámara MODIS, pasaba un tiempo máximo de 15 minutos después que el SAC-C. Si bien este es un período de tiempo relativamente corto, las nubes pueden desplazarse significativamente con respecto a la imagen HSTC. Es por esto que hace falta ajustar la máscara de nubes MODIS para asegurarse de cubrir todas las nubes en la imagen HSTC, o al menos, las nubes que se encuentran iluminadas, para no confundirlas con incendios.

Primero se requiere detectar en la imagen HSTC las luces que puedan estar asociadas a nubes. Se aplica un filtro de umbral basado en las estadísticas de la

imagen del tipo:

$$UMBRAL = \mu + \alpha\sigma, \quad (1)$$

donde μ es la media y σ el desvío estándar de la imagen HSTC.

A todos los píxeles de la imagen que no cumplan que su valor sea mayor a UMBRAL, se les asigna el valor cero.

Luego se filtra la imagen resultante para descartar los grupos de píxeles pequeños, de manera de acelerar el procesamiento. La resolución de la imagen es de 240 metros, y se consideran las nubes de tamaño mayor o igual a $0,9km^2$, o sea 4x4 píxeles de la imagen. A todo grupo que no tenga dentro sí como mínimo una distribución cuadrada de 4x4 píxeles, se le asigna el valor cero (Fig. 4). En realidad, esta distribución puede ser rectangular, por ej. de 5x4, 7x36 píxeles, etc. Pero ambos lados deben ser mayores o iguales a 4.

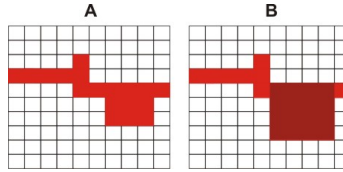


Figura 4. Filtro morfológico para la detección de nubes. En A se ve un grupo de píxeles de color rojo que será eliminado. En B hay otro grupo similar, pero este contiene una distribución cuadrada de 4x4 píxeles (en rojo más oscuro). Los píxeles de color oscuro no serán eliminados, el resto sí.

Una vez filtrada la imagen HSTC, se le aplica la máscara de nubes MODIS. Se asigna un valor “*NUBE*” a los píxeles HSTC que indique que están cubiertos por nubes. Una vez “pintada de nubes”, se utiliza sobre esta imagen un algoritmo que la recorre una vez y genera una lista de grupos de píxeles iluminados, donde se registran las posiciones y valores de cada píxel. La Fig. 5 muestra la manera en que se forman los grupos. Se descartan los que contengan menos de C_p píxeles.

Paso siguiente, se analizan los píxeles de cada grupo. Si más del 49 % están cubiertos por nubes de MODIS, entonces se considera que todo el grupo pertenece a una nube, de lo contrario, se los borra de la imagen asignándoles el valor cero. El valor de 49 % fue obtenido empíricamente analizando la velocidad de desplazamiento de nubes entre varios pares de imágenes HSTC y MODIS.

Se actualiza la máscara de nubes MODIS con los píxeles de la HSTC que, luego del análisis descrito arriba, son considerados nubes. Esta será la máscara de nubes a aplicar en la imagen HSTC. La nueva máscara asegura incluir las nubes grandes que se encuentran iluminadas por rayos o la luz de la luna, así como también las nubes que se encuentran iluminadas por luces desde abajo, corrigiendo la diferencia de tiempo entre adquisiciones de los satélites SAC-C y TERRA.

Los valores del parámetro α de la Ec. 1 y la cantidad de píxeles C_p , son definidos empíricamente mediante un análisis estadístico de imágenes HSTC. Estos

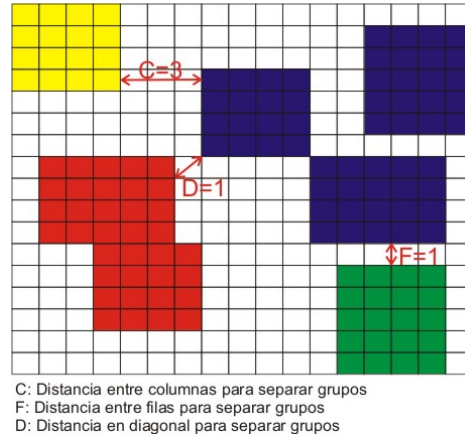


Figura 5. Agrupamiento de píxeles. Esta figura muestra en qué forma se agrupan los distintos conjuntos de píxeles luego de aplicarle a la imagen HSTC el filtro por umbral de la Ec. 1 y la máscara de nubes de MODIS. Cada color representa un grupo diferente. Los valores C, F y D fueron elegidos teniendo en cuenta la geometría de la imagen HSTC, de manera de poder agrupar píxeles vecinos en forma rápida.

se fijaron de manera de poder detectar grupos significativos de luces teniendo en cuenta los rangos de contajes presentes en las imágenes HSTC, y acelerar a su vez el tiempo de ejecución del programa. Se les asignaron los siguientes valores: $\alpha=1$ y $C_p=16$.

3.2. Detección de Focos de Luz

Es necesario filtrar el ruido de la imagen HSTC para poder obtener solamente las luces significativas. El filtro que se aplica es una implementación del filtro de umbral por ventanas publicado por Elvidge *et al.* [9,10].

En la imagen HSTC original se toman ventanas cuadradas de tamaño de lado T_g , donde se calcula el umbral para detectar luces por ventanas (UL):

$$UL_i = \mu_i + \beta\sigma_i, \quad (2)$$

donde μ_i es la media y σ_i el desvío estándar de la ventana #i de tamaño T_g .

En el centro de cada una de estas ventanas, se toma una ventana menor de tamaño T_c , donde se ponen en cero todos los píxeles cuyos valores sean menores al UL de la ventana de tamaño T_g correspondiente.

Las ventanas de tamaño T_g tienen una superposición $T_g - T_c$ en todas direcciones, de manera de cubrir toda la imagen con ventanas adyacentes de tamaño T_c (Fig.6).

Los valores de los parámetros β , T_g y T_c son obtenidos empíricamente mediante un estudio estadístico de imágenes HSTC. Se les asignaron los siguientes valores: $\beta=3$; $T_g=1000$ píxeles; $T_c=250$ píxeles, los cuales permiten detectar focos de luz de baja intensidad en zonas oscuras y evitan descartar focos de luz de

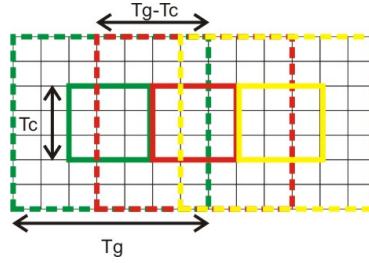


Figura 6. Distribución de las ventanas del filtro para detectar focos de luz significativos en la imagen HSTC.

alta intensidad que se encuentren cerca de grandes ciudades (fuentes importantes de luz para la cámara HSTC).

3.3. Detección de Incendios

Habiendo detectado los focos de luz de la HSTC, ahora se deben descartar de la imagen los que correspondan a luces estables, rayos, o nubes.

Como primer paso se aplica la máscara de nubes HSTC, obtenida según el procedimiento explicado en la Sección 3.1, sobre la imagen, asignando a cero todos los píxeles que están cubiertos por nubes. Luego se toma un recorte de la máscara de agua y otro de la máscara de luces estables que abarquen la imagen entera, y se agrandan sus coberturas, de manera de salvar el error de georreferencia que tiene la imagen HSTC. Para hacer esto, se aplica un filtro que a cada píxel de las máscaras lo transforma en un grupo de 3x3 píxeles, centrado en el píxel original. Luego se proceden a enmascarar las luces estables y el agua en la imagen, asignándoles el valor cero.

A esta altura, los focos luminosos que quedan en la imagen son asociados a incendios. Previamente a imprimirlos, se aplica un filtro similar al ejemplificado en la Fig. 4, pero en vez de borrar los píxeles se les asigna un valor predeterminado V_b . Luego se agrupan los píxeles de los incendios por proximidad, utilizando el método de la Fig. 5. Cada grupo es considerado un foco de incendio.

Los focos de incendio donde la mayoría de los píxeles tienen el valor V_b son descartados. Este último paso se realiza para no confundir píxeles brillantes debidos a ruido de la cámara, con incendios.

Para terminar, se imprime un listado con la latitud y longitud central de cada foco de incendio, su área y la posición en la imagen HSTC. A su vez, se genera un mapa en formato JPEG, con la ubicación de los incendios encontrados, mostrando también la cobertura de la cámara HSTC y la máscara de nubes (ver Sección 4).

Para un rápido análisis de la forma de los incendios detectados, se generan imágenes de pre-visualización en formato JPEG, tomando un recorte sobre la imagen HSTC centrado en cada incendio.

3.4. Estadísticas

Basándose en el trabajo de Elvidge *et al.*[11], se procede a generar una estadística de los resultados del algoritmo. Se tienen tres grillas georreferenciadas con una resolución de 30 segundos de arco, donde se guardan en cada una por separado: los focos de luces (ver Sección 3.2), la cobertura de nubes (ver Sección 3.1) y la cobertura de la cámara HSTC. En las celdas de las grillas se suma el valor uno, cada vez que se registra una ocurrencia del tipo dato correspondiente. De esta manera se sabe en cada celda de la grilla, cuántas veces la cámara HSTC adquirió imágenes, cuantas veces se detectaron luces, y cuantas veces la visión estuvo obstruida por nubes.

Con esta estadística se puede mejorar y actualizar el mapa de luces estables utilizado en el algoritmo. Esto último es muy importante, ya que hay que tener un registro de los cambios que se efectúan en las emisiones de luces estables. Por ejemplo, si una ciudad se expande o si hay un nuevo venteo de gas, y no se actualiza el mapa de luces estables, estas luces serán confundidas con incendios. También está el caso de que, por ejemplo, una fuente que emitía luz regularmente deje de hacerlo, por lo tanto no es necesario seguir considerándola una luz estable y enmascarándola en el algoritmo.

4. Validación

Para mostrar el funcionamiento del algoritmo, se lo utilizó sobre una imagen HSTC del 15 de febrero del 2003, con inicio de captación a las 03:24 UTC. Esta contiene gran cantidad de incendios de diversos tamaños y formas. Se comparan luego los incendios detectados, con los encontrados por la cámara MODIS utilizando el método de diferencias de bandas térmicas (producto MOD14 [12]).

En la Fig. 7 se analiza cómo varía la imagen HSTC luego de aplicarle los distintos filtros mencionados anteriormente.

Se detectaron en total 11 focos de incendios en la imagen HSTC y 18 en el producto MOD14. Todos los incendios detectados con la HSTC se corresponden con un incendio de este producto. Los 7 focos de incendio que no fueron detectados por la HSTC son pequeños, y no llegan a tener una distribución de 4x4 píxeles dentro de sí. En la Fig. 8 se compara la manera en que visualizan los incendios las cámaras HSTC y MODIS.

Su buena relación señal a ruido, le permite a la cámara MODIS detectar no solo incendios de tamaño de un píxel, sino de tamaño sub-píxel. Si bien, la cámara HSTC no posee la misma relación señal a ruido, esta tiene una resolución más de 4 veces mayor (Fig. 9), aportando importante información espacial.

En la Fig. 10 se muestra el mapa con las ubicaciones de los 11 incendios detectados en la HSTC.

La validación realizada en esta sección, es simplemente para comparar el funcionamiento habitual del algoritmo sobre una imagen HSTC, con el algoritmo de incendios de MODIS. Se han realizado además innumerables pruebas de validación con imágenes HSTC, productos e imágenes MODIS, productos e imágenes

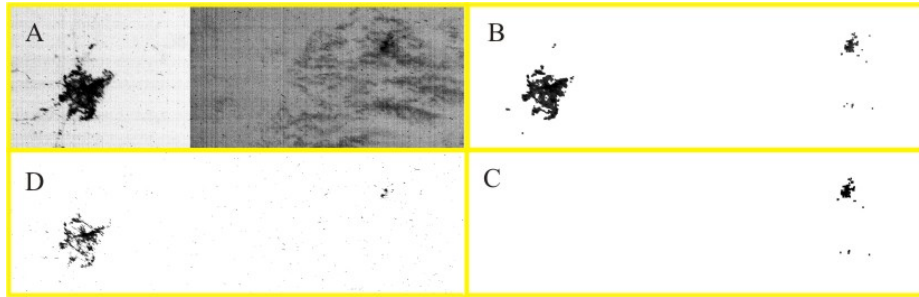


Figura 7. Ejemplo de los diferentes filtros aplicados a la imagen HSTC. A: Imagen HSTC sin filtrar. A la izquierda se ve en grande la ciudad de Santiago de Chile y arriba a la derecha, a través de nubes finas, la ciudad de Mendoza. El cambio brusco de intensidad en la imagen marca la unión de las dos cámaras. B: Filtro por umbral de la Ec.1. C: Detección de nubes. D: Detección de focos de luz.

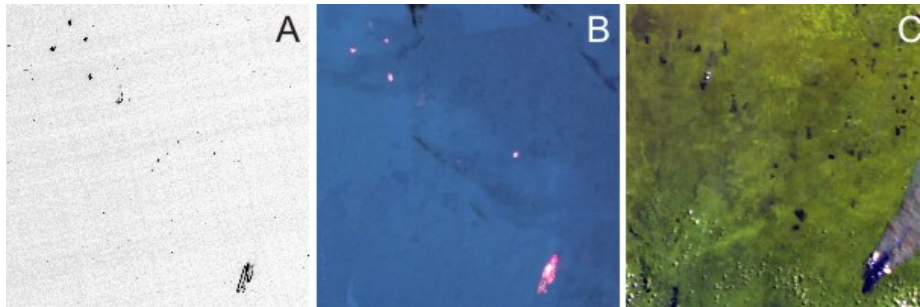


Figura 8. Visualización de incendios con las cámaras HSTC y MODIS. A: Imagen HSTC. B: Imagen térmica MODIS (bandas 23-29-31) tomada 3 minutos después. Se pueden ver en color rosado los incendios. C: Imagen óptica MODIS (bandas 13-12-02) tomada 11 horas después. Aún continúan los incendios. Se pueden ver las plumas de humo y en negro las superficies quemadas.

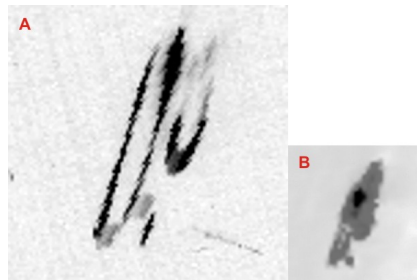


Figura 9. Relación de resolución espacial entre cámaras. Se muestra un acercamiento sobre uno de los incendios de la Fig. 8. A: Imagen HSTC. B: Imagen térmica MODIS (bandas 23-29-31) invertida, representada en tonos de grises.

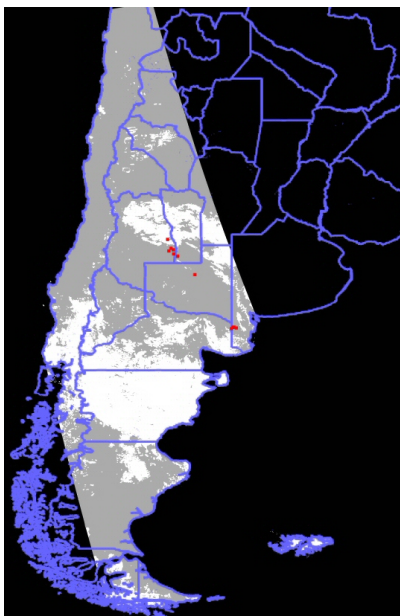


Figura 10. Mapa de focos de incendio. En rojo se muestran las ubicaciones de los incendios detectados, en gris la cobertura de la cámara HSTC, y en blanco la máscara de nubes.

NOAA y partes de incendios. En estas pruebas se obtuvieron al principio falsos positivos debido a que el mapa de luces estables no se encontraba actualizado. Una vez corregido este mapa no se detectaron más falsos positivos. Los falsos negativos son siempre debidos a incendios de pequeño tamaño.

5. Conclusiones

En este trabajo se presentó un algoritmo para poder detectar incendios automáticamente. Este utiliza la sinergia entre los instrumentos HSTC y MODIS a bordo de los satélites SAC-C y TERRA, respectivamente, los cuales se encontraban en constelación. Se utilizaron los productos MOD35 y MOD03 de la cámara MODIS, el mapa de luces estables generado con la cámara OLS de los satélites del DMSP, y una máscara de agua/tierra.

El algoritmo funciona eficazmente con incendios de superficies mayores a los $0,9km^2$, que tengan en su interior, al menos una distribución cuadrada de 4×4 píxeles. Esto se debe básicamente al ruido intrínseco de la cámara HSTC. Si se consideraran incendios de menor tamaño sería imposible distinguirlos de ruido.

Cabe señalar que este algoritmo es muy sensible a la exactitud en la georreferencia. Un error de georreferencia hace que las máscaras del algoritmo no se apliquen debidamente, y por lo tanto, que se cometan errores en la detección de incendios.

Al comparar este algoritmo con el de bandas térmicas de MODIS, se obtuvieron resultados coincidentes y con mejor resolución espacial, ya que las imágenes MODIS tienen una resolución de 1km por píxel en vez de los 240 metros por píxel de las HSTC.

Si bien la relación señal a ruido de la cámara HSTC no permite detectar incendios de menor tamaño que la cámara MODIS, los resultados obtenidos con el algoritmo de detección de incendios HSTC son importantes para usar en conjunto con resultados de otros algoritmos de incendios. Brindando de esta forma una mayor confiabilidad y mejor resolución espacial a los incendios detectados.

Agradecimientos

Quiero agradecer al Lic. Marcelo Peres, quien realizó el software de pre-procesamiento HSTC, por su inestimable ayuda y predisposición en el desarrollo de este trabajo.

Referencias

1. MODIS Web: <http://modis.gsfc.nasa.gov/index.php>
2. AVHRR Web: <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html>
3. DMSP Web: <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/>
4. MODIS Atmosphere Web: <http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/index.html>
5. Strabala, K.: MODIS Cloud Mask User's Guide. Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, University of Wisconsin - Madison. <http://cimss.ssec.wisc.edu/modis1/pdf/CMUSERSGUIDE.PDF>.
6. Producto MODIS MOD03: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/dataproducts.php?MOD_NUMBER=03
7. Ackerman, S., Strabala, K., Menzel, P., Frey, R., Moeller, C., Gumley, L., Baum, B., Seemann, S.W., Zhang, H.: Discriminating Clear-Sky from Cloud with MODIS Algorithm Theoretical Basis Document(MOD35). NASA. (October 2006) http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod06.pdf.
8. Elvidge, C., Imhoff, M., Baugh, K., Hobson, V., Nelson, I., Safran, J., Dietz, J., Tuttle, B.: Nighttime lights of the world: 1994-95. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **56** (2001) 81-99
9. Elvidge, C., Baugh, K., Hobson, V., Kihn, E., Kroehl, H.: Detection of fires and power outages using dmsp-ols data. In Lunetta, R., Elvidge, C., eds.: *Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Methods and Applications*. Ann Arbor Press (1998) 123-135
10. Elvidge, C., Nelson, I., Hobson, V., Safran, J., Baugh, K.: Detection of fires at night using dmsp-ols data. In Ahern, F., Goldammer, J., Justice, C., eds.: *Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space: Planning a Coordinated International Effort*. SPB Academic Publishing bv, The Hague, The Netherlands (2001) 125-144
11. Elvidge, C., Baugh, K., Kihn, E., Kroehl, H., Davis, E.: Mapping of city lights using dmsp operational linescan system data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **63** (1997) 727-734
12. Producto MODIS MOD14: <http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod14v4.asp>