

ANÁLISIS DE INCENDIOS MEDIANTE IMÁGENES NOAA

J.J. CASANOVA, P. ILLERA, J.A. DELGADO Y P. RODRIGUEZ.
Universidad de Valladolid. Dpto. de Física Aplicada I. Valladolid

RESUMEN

En el trabajo se estudian las posibilidades de los canales 3 y 4 de las imágenes NOAA AVHRR, para detectar incendios forestales y determinar su temperatura y extensión. El estudio se lleva a cabo mediante una técnica multispectral basada en la diferencia de temperaturas de brillo en los dos canales, para un píxel parcialmente incendiado. Las imágenes son captadas directamente al paso de los satélites, mediante un receptor HRPT del que disponemos en nuestro Departamento.

ABSTRACT

The feasibility of using channel 3 and 4 NOAA AVHRR images to detect forest fires and to estimate their temperatures and sizes has been studied. This study is carried out by a multispectral technique that is based on the difference of channel 3 and 4 brightness temperature for a pixel that is partly covered by fire. The images are collected by a NOAA HRPT receptor in our Department.

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales constituyen un grave problema ecológico en España, dada la frecuencia con que se han presentado en los últimos años y la extensión de las superficies quemadas. Aunque se ha producido un aumento de la toma de conciencia acerca de la importancia del tema, con el consiguiente incremento de los medios de vigilancia y lucha, los resultados no parecen ser demasiado alentadores y cada verano se repiten estos episodios en cantidades alarmantes.

La Teledetección permite obtener información sobre extensas superficies de bosque, por lo que se ha utilizado para estudiar los incendios forestales. Las imágenes de los satélites de alta resolución espacial, como los de las series LANDSAT y SPOT, han proporcionado buenos resultados en la evaluación de superficies afectadas. Estos satélites presentan la fuerte limitación de su baja resolución temporal y pequeña cobertura espacial, por lo que no resultan útiles a la hora de detectar incendios o realizar una vigilancia de zonas de riesgo.

Los satélites de la serie NOAA, en órbita desde 1978, suponen una alternativa adecuada para realizar este tipo de estudios. Actualmente se encuentran en operación cuatro satélites de la serie: los NOAA-9, 10, 11 y 12. Su radiómetro AVHRR capta imágenes que cubren toda la Península Ibérica, con una resolución espacial de $1,1 \times 1,1 \text{ Km}^2$ en el punto nadir. La frecuencia temporal es, como mínimo, de dos imágenes por satélite y día, muy adecuada para realizar trabajos de detección e identificación de zonas de riesgo. En cuanto a la información espectral, el AVHRR proporciona imágenes en cinco bandas:

- Canal 1, visible: 0,58 a 0,68 μm
- Canal 2, infrarrojo próximo: 0,72 a 1,10 μm
- Canal 3, infrarrojo medio: 3,55 a 3,93 μm
- Canal 4, infrarrojo térmico: 10,3 a 11,3 μm
- Canal 5, infrarrojo térmico: 11,5 a 12,5 μm .

Los estudios de incendios con satélites de esta serie se han orientado fundamentalmente en dos direcciones. En primer lugar, los focos a altas temperaturas son fácilmente identificables en el canal 3 de las imágenes, que permite así la detección (Matson et al., 1981; Matson et al., 1984; Matson et al., 1987; Flamingan et al., 1986). Por otra parte, los canales 1 y 2 resultan adecuados para el cálculo de índices de vegetación. El seguimiento de la evolución temporal de estos índices permite localizar áreas con gran cantidad de biomasa verde acumulada y determinar así índices de riesgo (Miller et al., 1983; López et al., 1991).

En este trabajo nos hemos planteado el estudio de los incendios forestales mediante imágenes infrarrojas NOAA AVHRR, que captamos directamente al paso de los satélites mediante un receptor del que disponemos en nuestro Departamento. Utilizamos la técnica multispectral propuesta por Dozier (Dozier, 1981), que permite la identificación de incendios con tamaños menores que un píxel y la estimación de temperaturas y superficies afectadas.

2. DETECCIÓN DE LOS INCENDIOS

El trabajo que presentamos ha sido realizado utilizando imágenes HRPT-NOAA captadas en la Universidad de Valladolid, directamente al paso de los satélites. Nuestro Departamento dispone de un receptor HRPT-NOAA, adquirido a la Universidad de Bradford y modificado por nosotros, que permite la captura de imágenes de hasta $2000 \times 2000 \text{ Km}^2$ con una resolución de 10 bits. La señal recibida contiene los valores de las radiancias de los radiómetros HIRS, MSU, SSU y AVHRR. Los canales de los tres primeros radiómetros permiten determinar los perfiles verticales de humedad y temperatura, y los cinco canales del AVHRR corresponden a las bandas espectrales citadas en la Sección 1.

La diferencia de las longitudes de onda en las que operan

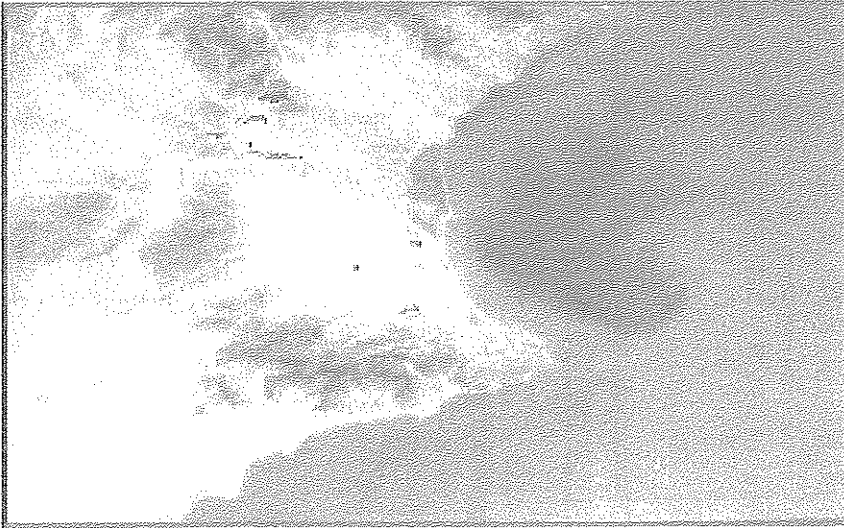


Imagen 1.- Imagen de temperaturas de brillo del canal 3 para el día 7 de agosto de 1991 a las 18h. El color rojo indica altas temperaturas y permite detectar varios incendios en la Comunidad Valenciana. Véase Anexo de color.

los canales 3 y 4 del AVHRR permite la detección de focos a temperaturas elevadas, en este caso de incendios forestales. Si un píxel incluye una zona incendiada, su temperatura de brillo es mayor en el canal 3 que en el canal 4. El fenómeno se explica más detalladamente en la sección siguiente, en la que se describe la técnica multispectral utilizada en el trabajo.

Así pues, el canal 3 resulta de gran utilidad para detectar incendios forestales. Además, la diferencia de temperaturas en los dos canales permite también realizar la detección y estudios de características de los incendios, como veremos posteriormente.

Las imágenes 1 y 2 muestran las temperaturas de brillo de los canales 3 y 4, para el día 7 de agosto de 1991 a las 18 h, en que detectamos varios incendios en la Comunidad Valenciana. Corresponden a una parte de la imagen original en la que se ha realizado una expansión lineal del contraste. La escala de la zona inferior indica la variación de temperaturas. El color rojo está asociado a píxeles con elevada temperatura de brillo.

En el canal 3 de la imagen se detectan diversos incendios. En el canal 4 las temperaturas de brillo son inferiores y resulta menos adecuado para la detección. Se observa que los píxeles de borde, parcialmente incendiados, en general no son

detectables, es decir, presentan una diferencia apreciable de temperaturas $T_3 - T_4$.

En el trabajo presentamos resultados sobre dos de las situaciones que se observan en las figuras. Corresponden al grupo de incendios situados al noroeste de La Albufera. Elegimos en primer lugar el de latitud más elevada. El registro de la imagen a partir de la localización de la órbita, nos permite determinar las coordenadas geográficas de su centro aproximado: $0,844^\circ\text{W}$ de longitud y $39,526^\circ\text{N}$. A partir de la temperatura T_3 se detecta que el incendio afecta a veintinueve píxeles de la imagen, con una resolución espacial media que es prácticamente la del punto nadir $1,1 \times 1,1 \text{ Km}^2$, ya que los puntos son contiguos a la traza del satélite en la imagen original. Finalmente los píxeles centrales del incendio se detectan en el canal 4, mientras que para los de borde las temperaturas decrecen. En cuanto al segundo incendio, es el situado al

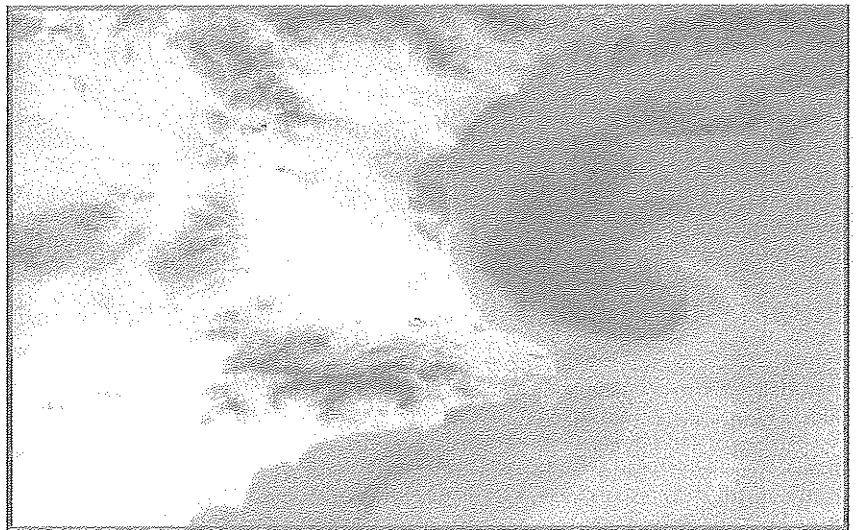


Imagen 2.- Imagen de temperaturas de brillo del canal 4 para el día 7 de agosto de 1991 a las 18h. El color rojo indica altas temperaturas. Se observa una mejor detección de incendios en el canal 3 (Imagen 1). Véase Anexo de color.

oeste del grupo. En este caso las coordenadas geográficas del centro aproximado son $0,980^\circ\text{W}$ y $39,378^\circ\text{N}$, con una resolución espacial media similar a la del anterior. Afecta a nueve píxeles de la imagen y la diferencia de temperaturas $T_3 - T_4$ es apreciable, por lo que se detecta mal en el canal 4.

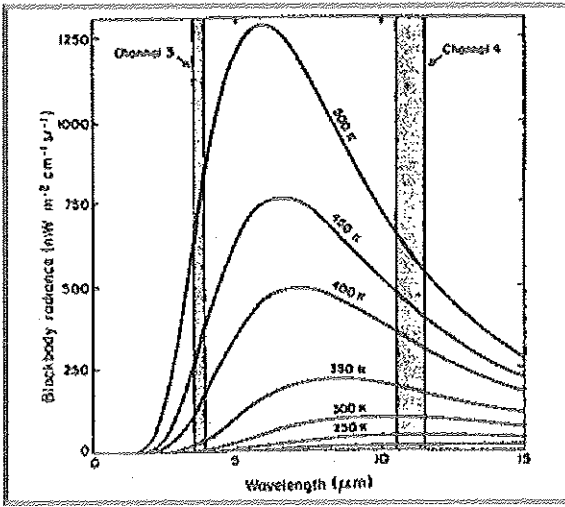


Figura 1.- Radiancia del cuerpo negro para temperaturas de 200 a 500 K. Se indican las bandas de operación de los canales 3 y 4 (de Matson et al., 1984).

3. MEDIDA DE LA TEMPERATURA Y ÁREA INCENDIADA

Para calcular la extensión y temperatura de un incendio forestal, utilizamos el método multispectral propuesto por Dozier, con los canales 3 y 4 del AVHRR (Dozier, 1981). El método supone que la radiancia procedente de un píxel integra la contribución de dos fuentes a distintas temperaturas, en nuestro caso un incendio forestal a temperatura T_f y vegetación a temperatura T_v , que ocupan el citado píxel en proporciones p y $1-p$ respectivamente, con $0 \leq p \leq 1$.

La forma en que las contribuciones de dos fuentes a temperaturas diferentes son promediadas en un píxel, depende del canal en que opera el sensor. Si una parte del píxel está mucho más caliente que la restante, contribuirá proporcionalmente con más radiancia para longitudes de onda infrarrojas cortas. La Imagen 1 ilustra este efecto. Se presentan curvas de la función de Planck para distintas temperaturas de la superficie emisora. Es evidente que la radiancia del cuerpo negro crece con la temperatura y que la longitud de onda correspondiente al máximo de emisión disminuye. Para un incremento determinado de temperatura, el crecimiento relativo del área bajo las curvas para la banda del canal 3 es mayor que el correspondiente al canal 4. Por lo tanto la temperatura de brillo de un píxel con una zona incendiada será significativamente mayor en el canal 3. Este hecho, como ya hemos indicado, permite detectar los incendios forestales (Matson et al., 1984; Flannigan et al., 1986).

Suponiendo un píxel con dos zonas diferenciadas emitiendo radiación infrarroja a temperaturas T_f y T_v , que ocupan porciones de la superficie total dadas por p y $1-p$ respectivamente, las radiancias detectadas en los canales 3 y 4 del AVHRR, sin considerar emisión o atenuación atmosférica, se pueden expresar como:

$$\begin{aligned} L_3(T_3) &= pL_3(T_f) + (1-p)L_3(T_v) \\ L_4(T_4) &= pL_4(T_f) + (1-p)L_4(T_v) \end{aligned} \quad (1)$$

siendo L_j ($j=3,4$) la función de Planck, pesada por la respuesta del sensor, para el canal considerado; T_j la temperatura de brillo correspondiente a la imagen del citado canal; T_f y T_v las temperaturas del incendio y la vegetación y p la

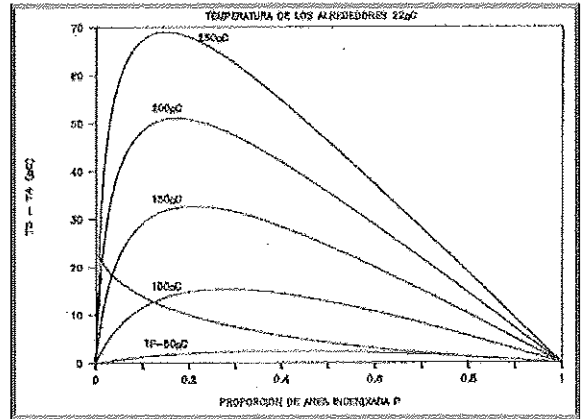


Figura 2.- Representación de la diferencia de temperaturas $T_3 - T_4$ frente a la propoción de área incendiada p para distintos valores de la temperatura del incendio T_f . Se presentan los valores posibles si $T_3=47^\circ\text{C}$.

proporción del píxel ocupada por las llamas. Dado que T_3 y T_4 se obtienen de los niveles de gris del píxel y los coeficiente de calibración de las imágenes, si se mide la temperatura de la vegetación T_v a partir de los píxeles adyacentes al incendio, la resolución del sistema de ecuaciones (1) permite obtener la temperatura del incendio T_f y la extensión de la zona en llamas p . El cálculo de p para los distintos píxeles permite determinar la extensión total del incendio. Resolveremos las ecuaciones mediante un método numérico, consi-

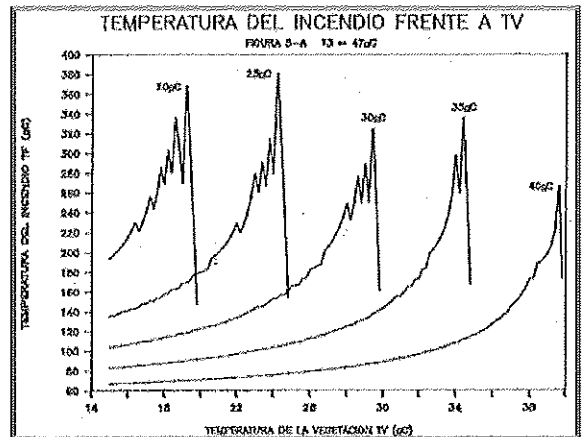


Figura 3 A.

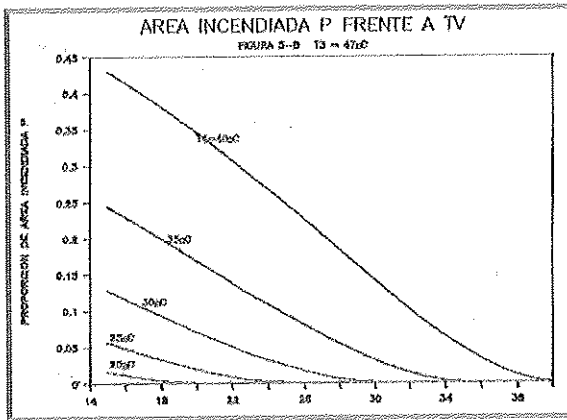


Figura 3B.- Representación de la temperatura del incendio T_f y proporción de área en llamas p frente a la temperatura de la vegetación T_v . Se fija $T_3=47^\circ\text{C}$ y se obtienen las curvas para distintos valores de T_4 .

derando aproximación monocromática, sin tener en cuenta las respuestas del sensor en los dos canales.

El método descrito es aplicable únicamente cuando el píxel está incendiado sólo parcialmente y contiene zonas a las temperaturas T_f y T_v . Para píxeles rodeados totalmente por otros correspondientes al incendio forestal, se supone que $p=1$, es decir toda la superficie está incendiada.

Antes de presentar los resultados obtenidos, estudiamos la dependencia de las soluciones del sistema frente a variaciones de las temperaturas T_3 , T_4 y T_v . Fijamos $T_3 = 47^\circ\text{C}$, que es un valor representativo de los que encontramos en los incendios. En la Figura 2 se representan las diferencias de temperaturas $T_3 - T_4$ frente a los valores de p , para distintas temperaturas T_f que varían entre 50 y 250°C . Se incluye también la curva que da los valores posibles si $T_3 = 47^\circ\text{C}$. Se observa que la diferencia de temperaturas aumenta con T_f y el máximo se desplaza hacia valores pequeños de p . Por lo tanto para píxeles con incendios que se detectan únicamente en el canal 3, con diferencia $T_3 - T_4$ grande, en general se tendrán valores pequeños de p y grandes temperaturas T_f . Los detectados en ambos canales, en cambio, llevarán asociadas generalmente temperaturas pequeñas T_f y valores variables de p .

Estudiamos también la dependencia de las soluciones del sistema con el valor de T_v . Al aumentar la diferencia $T_4 - T_v$, lo hace también la posibilidad de detección del incendio en el canal 4. En la Figura 3 se representan los valores de T_f frente a T_v para $T_3 = 47^\circ\text{C}$ y distintos valores de T_4 . En cada curva se observa que T_f aumenta al disminuir la diferencia entre T_4 y T_v . Las distintas curvas permiten apreciar también que T_f disminuye al aumentar T_4 . En resumen, los incendios detectables en el canal 4 presentan valores bajos de T_f , lo cual es lógico si se considera que focos a temperatura baja presentan una emisión mayor para longitudes de onda grandes.

En cuanto a la variación de p , en cada curva se observa que disminuye al hacerlo $T_4 - T_v$, como es lógico. Además p

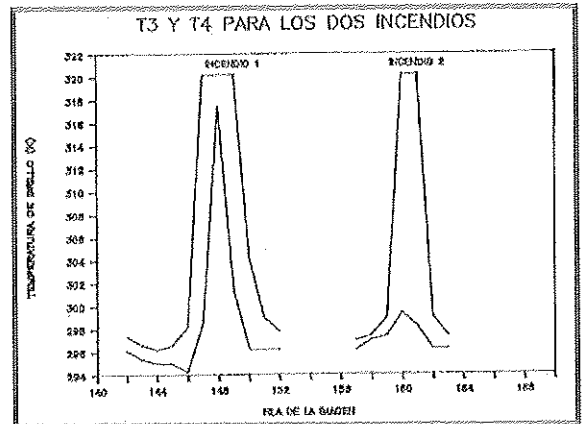


Figura 4.- Temperaturas de brillo en los canales 3 y 4 para líneas verticales que atraviesan las zonas centrales de los dos incendios estudiados.

crece al hacerlo T_4 , es decir si aumenta el área afectada es más fácil detectar el incendio en ambos canales.

Finalmente, en la figura 5-A se observa que el método no es aplicable para calcular T_f si la diferencia entre T_4 y T_v es muy pequeña. En estos casos se observan grandes variaciones de T_f con T_v . Corresponden a valores pequeños de p , por lo que el problema afecta poco al cálculo de la extensión del incendio.

4. RESULTADOS

El método se ha aplicado a los dos incendios del día 7 de agosto de 1991 descritos en la Sección 2.

Como ya hemos indicado, los incendios se detectan mejor en el canal 3 con longitudes de onda más cortas. En lo que se refiere a los dos elegidos en este estudio, el incendio 1 es visible en ambos canales, mientras que el segundo aparece únicamente en la imagen del canal 3. La Figura 4 representa las temperaturas de brillo T_3 y T_4 a lo largo de líneas verticales de la imagen que atraviesan los dos incendios. En ella se observan las diferencias $T_3 - T_4$, que confirman lo indicado. Además, para el incendio 1, la diferencia de temperaturas es menor en la zona central, con píxeles quemados totalmente, que en las zonas de borde en que los píxeles están incendiados sólo parcialmente, de acuerdo con los resultados obtenidos en la sección anterior (Figura 2).

Para resolver las ecuaciones (1), se utiliza un método numérico. Considerando un píxel parcialmente incendiado, los valores de T_3 y T_4 se obtienen a partir de su nivel de gris en las imágenes. La temperatura T_v se obtiene mediante los píxeles que rodean al incendio, utilizando la imagen del canal 4. Para resolver el sistema se calculan los valores de T_f correspondientes a los distintos valores de p , con las dos ecuaciones (1) por separado. La solución del sistema corresponde al valor de p que conduzca al mismo resultado para T_f con ambas ecuaciones.

El método se ilustra gráficamente en la Figura 5 (A y B).

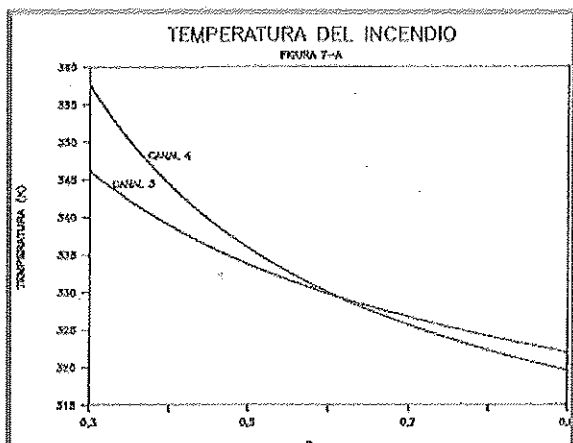


Figura 5A.- Resolución del sistema de ecuaciones (1) para los píxeles de la Tabla I.

Se elige un píxel de cada uno de los incendios seleccionados. Los valores de T_3 , T_4 y T_v se indican en la Tabla I. En las figuras se observa que la curva de valores de T_f correspondiente al canal 4, comienza con valores superiores y presenta una pendiente mayor que la del canal 3. El punto de corte de las dos curvas es la solución (p, T_f) del sistema de ecuaciones. Los valores obtenidos en los dos casos se presentan también en la Tabla I.

Tabla I.- Solución del sistema de ecuaciones (1) para píxeles de los dos incendios.

	T_3 (K)	T_4 (K)	T_v (K)	p	T_f (K)
1	320,2	317,4	296	$5,5 \cdot 10^{-1}$	59,4
2	321,4	295,4	294	$1,9 \cdot 10^{-3}$	627,3

En general, los píxeles del incendio 1 corresponden a situaciones variadas, predominando en los bordes situaciones como las del caso 2. En el incendio 2 todos los píxeles son de borde y se obtiene siempre una situación del tipo de la del píxel 2, aunque con valores algo mayores de p y T_f en torno a los 525 K.

Por último, la aplicación del método a la totalidad de los píxeles de cada incendio permite determinar su extensión. Teniendo en cuenta que la resolución espacial media de las imágenes en la zona de estudio es de $1,21 \text{ Km}^2$, los resultados son los siguientes:

INCENDIO 1: 383 ha
INCENDIO 2: 3,52 ha

Como hemos comentado anteriormente, en los píxeles totalmente rodeados por otros incendiados el método no es aplicable y se considera $p=1$.

5. CONCLUSIONES

En el trabajo analizamos las posibilidades de los canales infrarrojos de las imágenes HRPT-NOAA para estudiar los in-

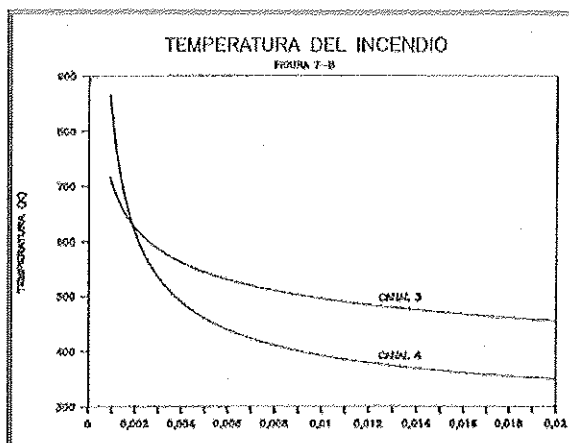


Figura 5B.

ciendios forestales. Para ello utilizamos una técnica biespectral que permite determinar la temperatura T_f y extensión del fuego p para un píxel parcialmente incendiado, a partir de las temperaturas en los canales 3 y 4 la y la temperatura de la zona no afectada por las llamas T_v (Ecuaciones (1)).

Comenzando con la detección, los píxeles de borde de los incendios presentan una diferencia apreciable de temperaturas en los dos canales. Se detectan con facilidad en el canal 3 y no son visibles en el canal 4. Al aumentar el área incendiada decrece la diferencia T_3-T_4 y los incendios se detectarán en ambos canales.

En cuanto a la temperatura del incendio, para diferencias T_3-T_4 grandes se obtienen valores elevados T_f y pequeños de p . Al crecer el área incendiada disminuye T_3-T_4 , con lo que el incendio se detecta en el canal 4, y disminuye también el valor de T_f .

Los resultados dependen también de la diferencia de valores T_4-T_v . Al disminuir esta diferencia aumenta la temperatura del incendio y disminuye el área afectada. Así volvemos a deducir que los incendios detectados sólo en el canal 3 corresponden a valores grandes de T_f , con gran emisión en longitudes de onda cortas, y pequeños de p .

Como principales limitaciones del método se pueden citar la existencia de nubes o humo con extensiones menores que el área de un píxel, que modificarán los valores de las temperaturas y los resultados obtenidos. Asimismo, la saturación de los canales 3 y 4 limita los casos en que es posible la aplicación.

Por último, para mejorar los resultados, se puede llevar a cabo la corrección atmosférica de las imágenes, que permite una mejora en los valores de las temperaturas T_3 , T_4 y T_v utilizados como datos del modelo.

6. BIBLIOGRAFIA

- ✓ DOZIER, J. (1981): A method for satellite identification of surface temperatures fields of subpixel resolution. *Remote Sens. Environ.* 11: 221-229.
 - ✓ FLANNIGAN, M.; VONDER HAAR, T.H. (1986): Forest Fire Monitoring using NOAA satellite AVHRR. *Can. J. For. Res.* 16: 975-982.
 - ✓ LOPEZ, S. et al. (1991): An evaluation of the utility of NOAA AVHRR images for monitoring forest fire risk in Spain. *Int. J. of Remote Sens.* 12: 1841-1852.
 - ✓ MATSON, K.; DOZIER, J. (1981): Identification of subresolution high temperature sources using a thermal IR sensor. *Phot. Eng. & Remote Sens.* 47: 1311-1318.
 - ✓ MATSON, M. et al. (1984): *Fire detection using data from the Noaa-series satellites*. NOAA Tech. Mem. NESDIS-7.
 - ✓ MATSON, M.; HOLBEN, B. (1987): Fire detection using data from the NOAA-N satellites. *Int. J. of Remote Sens.* 8: 961-970.
 - ✓ MILLER, N.; CHINE, E.; HOWARD, S. (1983): *Evaluation of AVHRR data to develop fire fuels information as an input to IAMS*. Final Report. US Geological Survey.
-