

IMPACTO DE UN INCENDIO SOBRE EL RÉGIMEN DE FLUJOS ENERGÉTICOS EN UNA MASA FORESTAL. ESTUDIO DE UNA ZONA AFECTADA EN EL NOROESTE DE CASTILLA-LA MANCHA

J. M. Sánchez (*), E. Rubio (**)(**), F. R. López-Serrano (**), M. M. Artigao (*), V. Caselles (****), D. Moya (**),
M.M. Odi (**).

(*) Departamento de Física Aplicada, Escuela de Ingenieros Industriales de Albacete (EIIAB), Universidad de Castilla-La Mancha, 02071, Albacete. juanmanuel.sanchez@uclm.es

(**) Instituto de Desarrollo Regional (IDR), University of Castilla-La Mancha, 02071, Albacete, España.

(***) Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Albacete. University of Castilla-La Mancha, 02071, Albacete.

(****) Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica, Facultad de Física, Universitat de València, Dr. Moliner, 50, 46100, Burjassot (Valencia).

RESUMEN

Los incendios forestales son uno de los principales agentes en la alteración de la estructura y función de los ecosistemas. Las técnicas de Teledetección permiten obtener información y hacer un seguimiento de zonas extensas afectadas por incendios. En este trabajo hemos empleado un conjunto de 5 imágenes Landsat 5 Thematic Mapper (TM), de los años 2007-2008, que cubren una zona forestal y de monte bajo afectada por un incendio en el verano de 2001. Se han establecido dos zonas control (no quemadas) representativas de las condiciones en la zona quemada antes del incendio. Se ha aplicado el modelo simplificado de dos fuentes STSEB para elaborar mapas de flujos energéticos instantáneos, a la hora de paso del satélite. Una estación Bowen situada en la zona permite hacer una validación previa de los resultados. En cuanto al régimen de flujos energéticos lo más significativo es el aumento de más de 150 W m^{-2} en el flujo de calor sensible, y el descenso de más de 250 W m^{-2} en la evapotranspiración real, que se observa en la zona forestal. En la zona de monte bajo, el efecto del incendio es ya prácticamente despreciable transcurridos 6 años, debido a la regeneración de la vegetación que se ha producido en la zona.

ABSTRACT

Forest fires are one of the main agents involved in the change of structure and function of ecosystems. Remote sensing techniques allow us to obtain land surface information and monitor vast areas affected by fire. In this work we used a set of 5 Landsat 5 Thematic Mapper (TM) images, of the years 2007-2008, covering an area of forest and shrubs, affected by a fire in the summer of 2001. Two control areas (non-burned) were established, representative of the pre-fire conditions in the burned areas. The simplified two-source model STSEB was applied to elaborate instantaneous energy flux maps, at the time of the satellite overpass. A Bowen station placed in the study site permitted a previous validation of the results. Regarding the energy fluxes the most remarkable is the increasing of more than 150 W m^{-2} in sensible heat flux, and the decreasing of more than 250 W m^{-2} in actual evapotranspiration, observed in the forested area. In the shrubs area, the fire effect is almost negligible after 6 years, since the vegetation regenerates.

Palabras clave: incendio forestal, flujos energéticos, Landsat 5-TM, vegetación natural

INTRODUCCIÓN

Por todos es bien sabido que los incendios forestales son altamente destructivos para la naturaleza, afectando al paisaje, al ciclo natural de la vegetación, y a la estructura y función de los ecosistemas. Otro efecto importante de los incendios, son los cambios provocados en la meteorología local y/o regional de la zona, y en concreto en el régimen de flujos energéticos en superficie. En los últimos años ha crecido la preocupación dentro de la comunidad científica por

el efecto que los incendios forestales pueden ejercer sobre el cambio climático en este sentido (Randerson et al., 2006).

Para poder estimar los flujos energéticos sobre zonas extensas de la superficie se hace necesario el uso de técnicas de Teledetección, siendo insuficiente los datos registrados en estaciones de medida puntual. En este trabajo emplearemos el modelo simplificado de dos fuentes (STSEB), desarrollado por Sánchez et al. (2008a), aplicado a imágenes de alta resolución del sensor Landsat 5 Thematic-Mapper (TM).

Nuestro objetivo con este trabajo es cuantificar el efecto de un incendio forestal en términos de radiación neta, y flujos de calor en el suelo, sensible y latente, en dos ecosistemas diferentes, un pinar maduro y una zona de matorral o monte bajo.

ÁREA DE ESTUDIO Y MATERIAL UTILIZADO

La zona de estudio es una masa forestal, con algunas parcelas de cultivos intercaladas, situada en el término municipal de Almodóvar del Pinar, Cuenca ($39^{\circ} 40'$ N, $1^{\circ} 50'$ W, 950 m altitud). El clima es mediterráneo, moderadamente cálido, seco y de inviernos frescos. La especie arbórea más importante en la zona es el pino rodeno (*Pinus pinaster* Ait.), con una fracción de cobertura media situada entre el 40 y el 70 %, aunque también coexisten muchas otras especies. En el verano de 2001, se produjo un incendio que afectó en total a unas 172 ha, de las cuales 113 ha estaban cubiertas de pino y 59 de arbustos (Figura 1). Tras el incendio se produjo un regenerado natural de la especie *Quercus ilex* L. Para este estudio hemos acotado dos áreas dentro de los límites de la zona quemada y otras dos fuera, correspondientes a zonas de pinar y zonas de arbusto. La extensión de cada una de las zonas es de 125×125 m². A las zonas establecidas fuera de los límites del incendio, se les ha denominado zonas

control (_c), y son perfectamente representativas de las condiciones que habría en las zonas marcadas dentro de los límites del incendio en caso de que este nunca hubiese ocurrido. En la zona denominada *Forestal_c*, se colocó una torre meteorológica con instrumentación para la medida de la temperatura del aire y velocidad de viento, a varias alturas, así como de la radiación solar incidente, precipitación, etc. Por otro lado, en septiembre de 2007 se instaló una estación Bowen de medida de flujos de energía en la zona quemada denominada *Forestal*.

En cuanto a las imágenes de satélite, para este trabajo hemos empleado un conjunto de 5 imágenes del sensor Landsat 5-TM (19 julio 2007, 4 agosto 2007, 28 septiembre 2007, 2 mayo 2008, 21 julio 2008), con una resolución espacial de 30 m para las bandas del visible e infrarrojo próximo, y de 120 m para la banda térmica. Además, para extraer los perfiles necesarios para la corrección atmosférica de las imágenes, hemos recurrido a la herramienta disponible en la página <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>.

METODOLOGÍA

El punto de partida del modelo utilizado es la ecuación de balance de energía:

$$R_n = G + H + LE \quad (1)$$

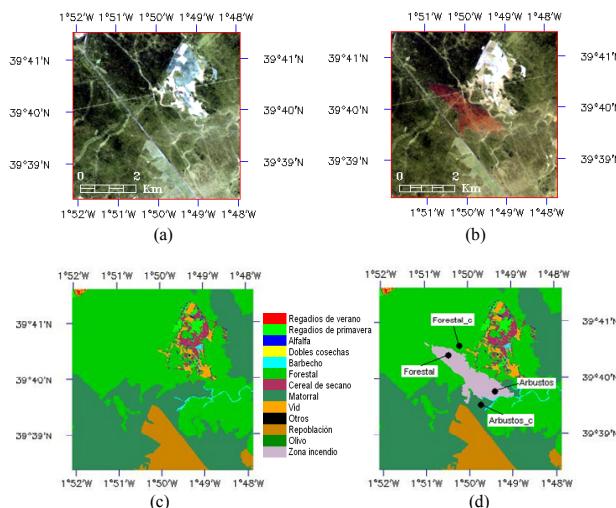


Figura 1.- Zona de estudio: (a) Composición en falso color (7,5,3) a partir de una imagen Landsat 7-ETM+ correspondiente a la fecha 8 de junio de 2001 (anterior al incendio), (b) Composición en falso color (7,5,3) a partir de una imagen Landsat 7-ETM+ correspondiente a la fecha 26 de julio de 2006 (posterior al incendio), (c) Mapa de usos de suelo anterior al incendio, (d) Mapa de usos de suelo posterior al incendio.

donde R_n (W m^{-2}) es el flujo de radiación neta, G (W m^{-2}) es el flujo de calor en el suelo, H (W m^{-2}) es el flujo de calor sensible, LE (W m^{-2}) es el flujo de calor latente o evapotranspiración. LE , se puede obtener como un residuo de la ecuación (1) conociendo previamente H , G y R_n . La descripción detallada de la metodología seguida para la estimación de todos y cada uno de los flujos de energía en superficie, así como del procesado y tratamiento de las imágenes de satélite, se puede encontrar en Sánchez et al. (2008b).

RESULTADOS.

Comparación con las zonas control

En primer lugar, era necesario un estudio previo de la similitud de las zonas llamadas “de control” con las zonas seleccionadas afectadas por el incendio. Para ello recurrimos a dos imágenes Landsat 7-ETM+ de la zona, una anterior y otra posterior a la fecha del incendio (8 junio 2001 y 26 julio 2006) y se compararon los valores obtenidos en ambas zonas, para cada uno de los 7 canales del Landsat. Dicha comparación, antes del incendio, muestra diferencias despreciables entre las zonas control y las zonas que días más tarde se verán afectas por el mismo. Se demuestra así la validez de la zonas control como representativas del estado de la vegetación en las zonas quemadas si el incendio no se hubiese producido. Sin embargo, las diferencias son evidentes cuando se analizan después del incendio.

Comparación con los flujos observados

Una vez procesados con MODTRAN los perfiles atmosféricos extraídos para cada una de las imágenes Landsat disponibles, se obtienen los parámetros atmosféricos necesarios para la corrección atmosférica de todas y cada una de las 7 bandas de las imágenes TM. Combinando esta información con los valores de temperatura del aire, velocidad de viento y radiación global, medidos en la torre meteorológica, se completa el conjunto de datos necesario. En la Figura 2 se muestra, a modo de ejemplo, algunos mapas generados a partir de la imagen del 28 de septiembre de 2007. Tres de las cinco imágenes analizadas coinciden en el tiempo con mediciones de la estación Bowen (valores entre paréntesis en la Tabla 1). Se observa un buen acuerdo entre los flujos medidos y los estimados. En resumen se obtienen unos errores relativos del 6%, 12%, 20% y 30% para R_n , G , H y LE , respectivamente.

Análisis del efecto del incendio

En la Tabla 1 se muestra el resumen de los valores promedio de los flujos para cada una de las

zonas y las fechas de estudio. Hay que tener presente que en las fechas de estudio ya habían transcurrido más de 6 años desde que se produjo el incendio. Así pues, la regeneración que se ha producido durante ese tiempo hace que la zona de arbustos haya recobrado en buena parte su estado original (anterior al incendio), mientras que es un periodo muy corto para la zona forestal. Transcurridos 6 años después del incendio, el efecto de éste sobre el régimen de flujos energéticos en la zona prácticamente ha desaparecido en la zona de *arbusto*, mientras que se sigue manifestando, y de forma muy significativa, en la zona *forestal*. En la Figura 3 se muestran los valores medios, para las 5 fechas analizadas, de las diferencias en términos de flujos energéticos entre los valores calculados para las zonas forestal y de arbustos, y sus respectivas zonas control. El flujo de calor sensible es, en valor medio, $155 \pm 11 \text{ W m}^{-2}$ mayor en la zona quemada, mientras que finalmente el flujo de calor latente es $257 \pm 13 \text{ W m}^{-2}$ inferior. Por tanto, si bien el efecto del incendio sobre el total de la radiación neta no llega a ser muy importante, si que lo es el aumento que se produce en la razón de Bowen (H/LE), y el descenso drástico en la evapotranspiración de la zona forestal. Sería deseable extender este estudio a años venideros y hacer un seguimiento temporal del régimen de flujos en la zona.

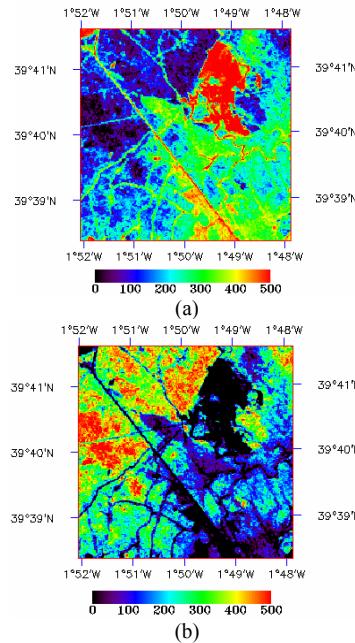


Figura 2.- Mapas obtenidos a partir de la imagen L5-TM correspondiente a la fecha 28 Septiembre 2007: (a) H (W m^{-2}) y (b) LE (W m^{-2}).

Tabla 1.- Valores promedio para cada una de las zonas y las fechas de estudio.

Fecha	Forestal		Arbustos	
	Zona de control	Zona quemada	Zona de control	Zona quemada
Radiación neta				
19 julio 2007	728±5	659±9	681±3	669±4
4 agosto 2007	704±2	644±8	649±5	643±5
28 septiembre 2007	595±3	540±5 (492)	563±2	544±4
2 mayo 2008	689±2	636±4 (633)	664±2	661±5
21 julio 2008	687±2	625±7 (653)	642±3	637±3
Flujo de calor en el suelo				
19 julio 2007	88±9	124±5	125±7	115±5
4 agosto 2007	96±5	127±5	128±4	121±7
28 septiembre 2007	39±10	101±5 (123)	99±7	95±5
2 mayo 2008	70±8	127±6 (134)	127±5	126±5
21 julio 2008	81±8	108±4 (101)	108±7	100±5
Flujo de calor sensible				
19 julio 2007	227±22	358±16	329±18	330±15
4 agosto 2007	225±13	331±11	310±11	317±18
28 septiembre 2007	140±30	397±24 (305)	350±25	373±21
2 mayo 2008	183±22	374±16 (386)	332±14	357±14
21 julio 2008	202±20	287±10 (427)	261±15	260±13
Flujo de calor latente				
19 julio 2007	410±30	180±30	226±25	224±23
4 agosto 2007	382±20	186±15	211±18	205±24
28 septiembre 2007	420±50	40±30 (64)	110±30	80±30
2 mayo 2008	440±30	134±20 (113)	204±19	178±21
21 julio 2008	400±30	229±13 (126)	273±20	277±20

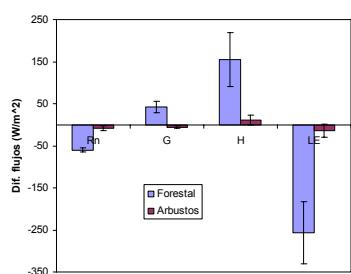


Figura 3.- Valores promedio de las diferencias entre las zonas quemadas y no quemadas.

CONCLUSIONES

En este trabajo nos hemos centrado en una zona de vegetación natural afectada por un incendio en verano del 2001, situada en la provincia de Cuenca. Se ha analizado, empleando imágenes de satélite de alta resolución espacial, el efecto del incendio sobre el régimen de flujos energéticos sobre dos ecosistemas diferentes, una zona de pinar y una zona de monte bajo. Se han elaborado mapas de flujos para cada una de las 5 imágenes Landsat 5-TM disponibles. La validación con datos registrados in situ determina errores relativos del 6%, 12%, 20% y 30% para R_n , G , H y LE , respectivamente. El efecto del incendio, en esta región, sobre una zona de arbustos es despreciable una vez transcurridos 6 años. En cambio, en una zona arbórea se registra un

aumento de los valores de H por encima de 150 W m⁻² y un descenso en la evapotranspiración real superior a 250 W m⁻² en torno al medio día local.

BIBLIOGRAFÍA

Sánchez, J. M., Kustas, W. P., Caselles, V. y Anderson, M. C. 2008. Modelling surface energy fluxes over maize using a two-source patch model and radiometric soil and canopy temperature observations. *Remote Sensing of Environment*, 112:1130-1143.

Sánchez, J. M., Scavone, G., Caselles, V., Valor, E., Copertino, V. A. y Telesca, V. 2008. Monitoring daily evapotranspiration at a regional scale from Landsat-TM and ETM+ data: Application to the Basilicata region. *Journal of Hydrology*, 351: 58-70.

Randerson, J. T., Liu, H., Flanner, M. G., Chambers, S. D., Jin, Y., Hess, P. G., Pfister, G., Mack, M. C., Treseder, K. K., Welp, L. P., Chapin, F. S., Harden, J. W., Goulden, M. L., Lyons, E., Neff, J. C., Schuur, E. A. G. y Zender, C. S. 2006. The impact of Boreal Forest Fire on Climate Warming. *Science*, 17: 1130-1132.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el MIC (Proyecto CGL2007-64666/CLI y contrato *Juan de la Cierva* de Juan M. Sánchez), y la JCCM (proyecto ECOFLUX II, Ref: PCC08-0109).