

EVOLUCIÓN POSTINCENDIO A PARTIR DE LOS EFECTOS INDUCIDOS POR LA TOPOGRAFÍA Y LA LITOLOGÍA EN LA RESPUESTA ESPECTRAL DE LA BANDA 5 DEL SENSOR LANDSAT TM

Viedma, O. y Meliá, J.

Dept. de Termodinámica. Facultat de Física. Universitat de València
Dr. Moliner, 50. 46100 Burjassot (Valencia). e-mail: olga.viedma@uv.es

ABSTRACT

El objetivo principal que se plantea en este análisis consiste en observar si la topografía y las condiciones litológicas ejercen un efecto observable sobre la respuesta espectral de zonas quemadas durante su proceso regenerativo. Para ello se ha hecho uso de una serie de 11 imágenes Landsat 5 TM correspondientes al período comprendido entre 1984 y 1994 y de una serie de capas de información auxiliar procedentes del MDT y de mapas analógicos. El comportamiento diferencial de las bandas TM frente a las distintas condiciones topo-climáticas permitió la elaboración de unos Modelos de Evolución Postincendio. Asimismo, el papel predominante de la banda TM5 en los procesos de clasificación indicó que el factor ambiental que se estaba caracterizando era la humedad y las condiciones de estrés hídrico que afectaban a cada posición topográfica. Ante esta situación, se elaboró un índice de humedad basado en el contraste espectral existente entre la región del visible y del infrarrojo medio y se observó su comportamiento en función de las condiciones topo-climáticas analizadas.

INTRODUCCION

La zona de estudio se localiza en el Norte de Alicante, en la costa Mediterránea de España. Se trata de una zona montañosa en la que los marcados gradientes topográficos causan acusadas diferencias microclimáticas perceptibles desde satélite. El preprocesamiento de las imágenes utilizadas consistió en su corrección geométrica y radiométrica. De esta forma, se llevó a cabo una normalización atmosférica mediante regresión lineal entre bandas a partir de una imagen de referencia y se eliminó el efecto radiométrico de la topografía mediante el método semiempírico de Minnaert basado en un modelo no-lambertiano. Una vez que las imágenes fueron comparables entre sí, se llevó a cabo la cartografía anual de zonas quemadas, de forma que se dispusiera de la base cartográfica de incendios sobre la cual se realizarían todos los tratamientos posteriores (CEAM, 1995). En este estudio se eligieron las zonas quemadas en 1986 sobre distintas litologías como zonas piloto para ver su evolución postincendio, si bien en esta presentación sólo se muestra el comportamiento de las mismas sobre calizas. Asimismo, la banda TM5 fue la elegida para

observar las diferencias microclimáticas provocadas por la topografía.

COMPORTAMIENTO DE LA BANDA TM5 EN FUNCIÓN DE LA TOPOGRAFÍA

El IRm (banda TM5) ha demostrado ser la región del espectro más sensible a los efectos causados por la topografía y la litología sobre los estados vitales de la vegetación (Leprieur y Durand, 1988). En la figura 1 se puede observar como la banda TM5 (correspondiente al IRm) es altamente sensible al incremento de las pendientes, presentando una relación directa con ésta en las zonas orientadas en la dirección del Sol.

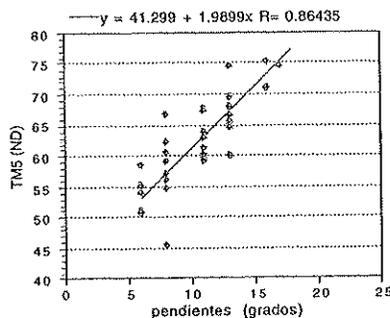


Figura 1. Relación entre la banda TM5 (en niveles digitales) y las pendientes (en grados) en la orientación Este.

En la figura 2 se muestran los cambios reflectivos observados en la banda TM5 en función de la orientación para los cuatro rangos de pendientes en los que se subdividió la zona y para una altura comprendida entre los 400-600m. Como se puede observar, entre 0-5° apenas hay diferencias reflectivas entre las distintas orientaciones. Entre 6-10°, la banda TM5 muestra valores claramente distintos según la orientación de las laderas, observándose como los valores más altos se corresponden a las zonas orientadas al SE, Este y NE, mientras que los valores más bajos se corresponden a las zonas orientadas al Norte, NW y Oeste. A medida que se incrementan las pendientes, las diferencias reflectivas entre las zonas orientadas a solana y las de umbría se hacen más acusadas. Sin embargo, el comportamiento de TM5 es claramente opuesto entre estos dos grandes

grupos de orientaciones, ya que en las solanas, con el aumento de la pendiente se produce un incremento de la reflectividad; mientras que en la umbría, a mayor pendiente, más bajo son los valores reflectivos de la banda TM5. Por otra parte, se observa que hay ciertas orientaciones menos sensibles reflectivamente a los cambios en la pendiente; tal es el caso de las zonas al Oeste y SW que ofrecen unos valores de TM5 muy cercanos entre sí para cada rango establecido. Si bien, las zonas al Oeste participan del comportamiento general de las umbrías mientras que las áreas al SW participan del de las solanas. Asimismo, se observa que en el rango de pendientes más alto (entre 16-20°) se producen las diferencias entre orientaciones máxima, a la vez que se marcan las mayores variaciones dentro de cada orientación, siendo las zonas orientadas al SE, Este y NE las que ofrecen las situaciones más destacadas.

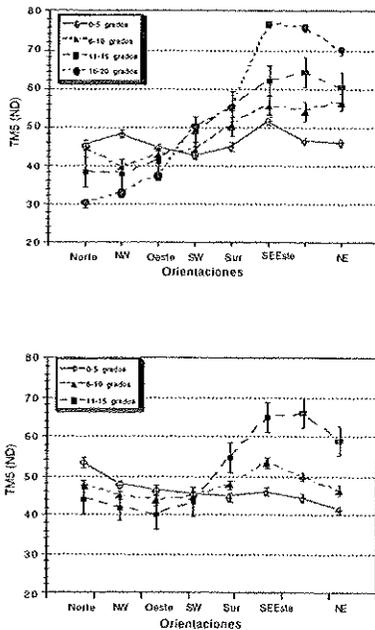


Figura 2. Comportamiento anisotrópico de TM5 en función de las orientaciones para cada rango de pendientes a 400-600m y 600-800m.

En la figura 3 se representa el comportamiento del NDVI en función de la topografía. El incremento paralelo observado entre los valores de NDVI y TM5 está más en relación con la propia reflectividad del suelo que con un aumento de la vegetación. El NDVI es muy sensible a la reflectividad del suelo en zonas con poca vegetación.

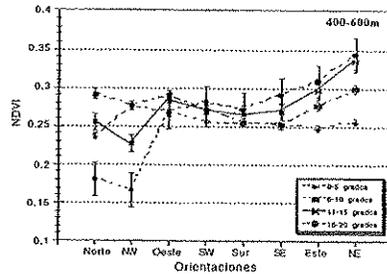


Figura 3. Comportamiento anisotrópico del NDVI en función de las orientaciones para cada rango de pendientes a 400-600m.

METODOLOGÍA

El comportamiento reflectivo observado es reflejo de los distintos grados de estrés hídrico que afectan a las diferentes posiciones topográficas. En este sentido, se trató de regionalizar una determinada imagen de satélite a partir de las diferencias espectrales provocadas por la topografía. Para ello, se hizo uso de la imagen correspondiente al año 1988, por ser la única imagen capaz de mostrar una dispersión espectral en TM5 estadísticamente significativa. La causa principal estribó en la época del año en que fue captada esta imagen (23 de Julio). Estos Modelos Topo-Climáticos de Evolución Postincendio se aplicaron a zonas que se habían quemado en 1986 y no se habían visto afectadas por ningún otro incendio durante la serie temporal analizada. A éstas se les extrajo toda su información topográfica y litológica obteniendo su valores medios y desviaciones en NDVI y en todas las bandas del sensor TM para el período (1984 -1994). En un principio, se analizó sólo el año 1988 por la facilidad que presentaba dicha imagen; posteriormente la metodología se extrapoló para la serie temporal (1984-1994) intentando observar si esas unidades lito-topográficas identificadas en 1988 seguían teniendo un significado espectral y biológico en todo el proceso regenerativo abarcado por las imágenes. El análisis estadístico se inició con la crostablación de todas las variables lito-topográficas contenidas en cada incendio con cada una de las bandas del sensor TM, mediante programación en FORTRAN. Posteriormente, mediante el paquete estadístico SPSS se le aplicó a los datos una clasificación no supervisada tipo hierarchical CLUSTER.

RESULTADOS

En un primer estadio se clasificaron las combinaciones lito-topográficas en base a su respuesta espectral en todas las bandas del sensor TM (TM1 a TM7, excepto TM6). Los

resultados gráficos se pueden observar en la figura 4.

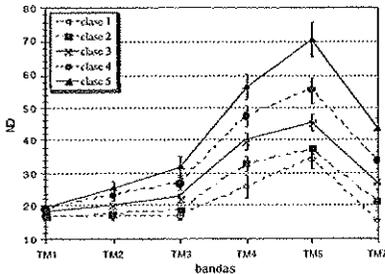


Figura 4. Clasificación de las combinaciones litológicas y topográficas contenidas en los incendios de 1986 a partir de las bandas TM1-TM7 correspondientes a la imagen de 1988.

Posteriormente, esta clasificación se enriqueció con la información proporcionada por la banda del NDVI apoyando la clasificación anterior (figura 5)

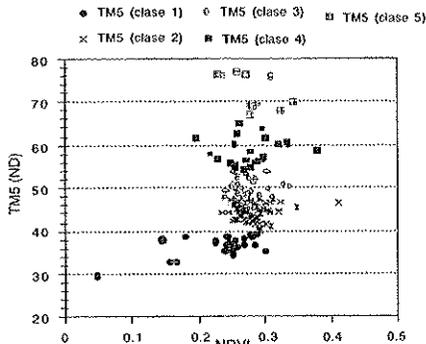


Figura 5. Clasificación de las combinaciones litológicas y topográficas contenidas en los incendios de 1986 a partir de las bandas TM5-NDVI correspondientes a la imagen de 1988.

Para el caso de las calizas, que es la única litología presentada en este trabajo, se observa que en la clase con menor reflectividad (clase 1 según todas las bandas (TM1-TM7) y clase 1 según TM5-NDVI) aparecieron incluidas las zonas que quedaban completamente en sombra, identificándose desde el punto topográfico con las áreas orientadas al NW y Norte en el rango de pendientes más elevado (16-20°). A continuación, en la clase 2 según todas las bandas (TM1-TM7) y clase 1 según TM5-NDVI se han englobado las zonas de umbría con importantes pendientes, si bien inferiores a las anteriormente analizadas. Observándose el comportamiento general de TM5 en las umbrías de aumentar sus valores de reflectividad a medida

que disminuye la pendiente (figura 2). Este fenómeno hizo pensar que la banda del IRm era la que más poder tenía en el proceso de clasificación. En la clase 2 (de TM1-TM7) y clase 2 (de TM5-NDVI), se englobaron las zonas orientadas a solana con bajas pendientes (hasta 5°) y las zonas de umbría con pendientes hasta 15°. Asimismo, fue observable como las zonas de transición (SW y Oeste) presentaron todas las pendientes, debido a que son las orientaciones que menos variabilidad espectral mostraron por el efecto de las mismas. En la clase 3 (de TM1-TM7) y clase 3 (de TM5-NDVI) se englobaron aquellas áreas que vieron incrementados sus valores de reflectividad por la presencia de un mayor stress hídrico (altos valores de TM5 y TM7) y por la existencia de mayor cantidad de suelo desnudo (altos valores en TM4). Ahora, aparecieron incluidas en esta categoría las mismas orientaciones de solana, si bien la pendiente se incrementó y aparecieron las zonas orientadas al NW y Norte con pendientes bajas, debido a su comportamiento espectral en la banda TM5 de aumentar su reflectividad a medida que se reducen las pendientes. En la clase 3 (de TM1-TM7) y clase 4 (de NDVI-TM5) encontramos representadas a las zonas de solana con pendientes acusadas que alcanzan los 15°. Y por último, en la clase 5 (de TM1-TM7 y clase 5 (de NDVI-TM5) se incluyeron las zonas orientadas al NE, Este y SE con el rango máximo de pendientes (16-20°).

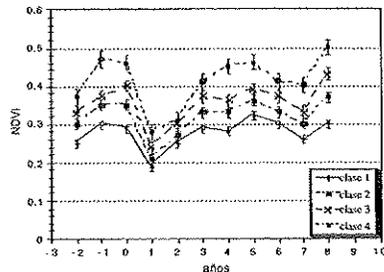


Figura 6. Clasificación multitemporal a partir del NDVI de las imágenes (1984-94).

La elaboración de los Modelos Topográficos se continuó con la ordenación y clasificación de los diferentes comportamientos regenerativos que presentaron las zonas lito-topográficas a lo largo de la serie temporal analizada (1984-1994). El resultado gráfico de la clasificación CLUSTER de las respuestas regenerativas en la banda del NDVI se muestran en la figura 6 y en TM5 en la figura 7.

En la litología correspondiente a las Calizas, para el primer caso tendríamos una categoría formada por dos curvas multitemporales de

NDVI (la 1 y la 2) y una sola de TM5 (la 4) que quedaría caracterizada por unos valores de NDVI multitemporal bajos y un TM5 muy alto. Se trata de áreas con poca actividad fotosintética, con abundante suelo y poca humedad y coinciden con las zonas de solana (NE, Este y SE) con altas pendientes, coincidiendo con la clase 5.5 de 1988.

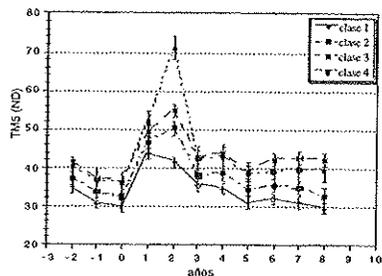


Figura 7. Clasificación multitemporal a partir del TM5 de las imágenes (1984-94).

La siguiente categoría quedaría estructurada por las mismas curvas de comportamiento multitemporal en NDVI, pero ahora ofrecería unos valores más bajos de TM5 (clase 2), indicando con ello la presencia de unas mejores condiciones hídricas para el desarrollo de la cubierta vegetal. En esta clase aparecen las mismas orientaciones de solana antes vistas, si bien ahora con unas pendientes menos acusadas. Asimismo, se incluyen las zonas orientadas al Sur en todo su rango de pendientes y las zonas de umbría con unas pendientes muy bajas no superiores a los 5°, coincidiendo con las clases 3.3 y 3.4 establecidas en la imagen de 1988. Dentro de la clase 2 de NDVI multitemporal se pudo distinguir otra categoría que quedaba perfectamente diferenciada por la banda TM5 al ofrecer valores más bajos (clase 1). En ella se incluyeron todas las orientaciones a umbría junto con las zonas al SW en todo su rango de pendientes, coincidiendo con las clases 2.2, 2.1 y 1.1 de 1988.

Por último, se elaboró un **índice de humedad (WI)** $(TM4-TM5)/(TM4+TM5)$ por estar más estrechamente relacionado con los cambios en biomasa de las plantas y su grado de stress hídrico que el NDVI (Cohen, 1991). En la figura 8 se presentan las relaciones entre este índice de humedad y la banda TM5 en función de las pendientes. Como se puede observar estas dos bandas mantienen una relación inversa, indicando que a medida que el índice arroja valores más altos, mejores son las condiciones hídricas. Asimismo, a medida que se incrementan las pendientes, mejor es la relación entre ambas bandas.

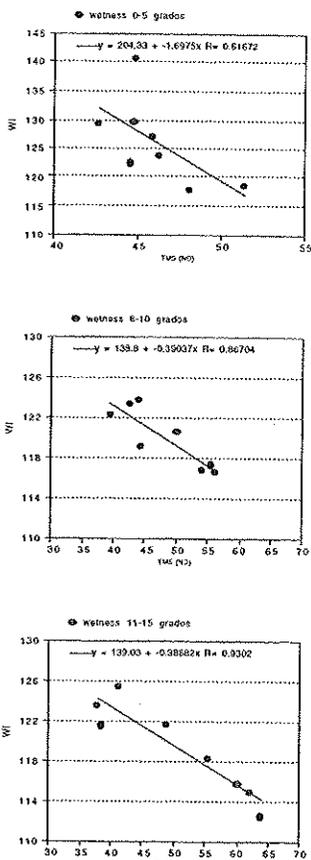


Figura 8. Relación entre el índice de humedad (WI) y TM5 en función de las pendientes.

BIBLIOGRAFIA

- CEAM (1995): *Evaluación mediante teledetección de los procesos de reforestación en zonas afectadas por incendios*, Memoria Final, Dpto. Termodinámica, Univ.Valencia.
- Cohen, W.B. (1991): Response of Vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress, *PERS*, vol.57(2):195-202.
- Leprieur, C.E. y Durand, J.M. (1988): Influence of topography on forest reflectance using Landsat TM and Digital Terrain Data, *PERS*, vol.54(4): 491-496.

AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo ha sido posible gracias al soporte del CEAM (Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo), del proyecto de la CICYT (CLI95-1887), así como de la Beca Doctoral concedida por La Consellería de Educación y Ciencia de Valencia.