

LA IMPORTANCIA DE LA TOPOGRAFÍA EN LA SUPERPOSICIÓN DE IMÁGENES  
LANDSAT-TM Y NOAA-AVHRR PARA EL CÁLCULO DE LA  
EVAPOTRANSPIRACIÓN: EL CASO DEL 28 DE JUNIO DE 1991 EN BARRAX  
(PROYECTO EFEDA)

M. M. Artigao <sup>(1)</sup>, C. Badenas <sup>(2)</sup>, V. Caselles <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Física Aplicada. Escuela Universitaria Politécnica de Albacete  
Universidad de Castilla-La Mancha. 02071 Albacete

<sup>(2)</sup> Departamento de Termodinámica. Facultat de Física. Universidad de Valencia  
Doctor Moliner, 50. 46100 Burjassot (Valencia)

**RESUMEN:** En el presente trabajo estudiamos el efecto de tener en cuenta la topografía existente en un área de estudio cuando se efectúa la corrección geométrica de imágenes NOAA-AVHRR con el fin de superponerlas correctamente con imágenes Landsat TM. Esta superposición es muy útil en la determinación de la evapotranspiración en zonas que presentan una distribución heterogénea de cultivos. La topografía se tiene en cuenta implícitamente durante la corrección de las imágenes Landsat TM, pero en la corrección de las NOAA-AVHRR hasta la fecha estaba implícitamente supuesto que la zona de estudio se encontraba a nivel del mar. Cuando se tiene en cuenta la topografía, vemos que se producen variaciones en la distribución térmica de los píxeles, lo que hace que el mapa final de evapotranspiración también se vea alterado, y por lo tanto se pueden construir mapas más precisos.

#### INTRODUCCIÓN

En trabajos anteriores (Artigao 1994, Hurtado *et al.* 1994, 1995, Artigao *et al.* 1997) se han empleado imágenes Landsat TM y NOAA-AVHRR conjuntamente para estimar la evapotranspiración real en una zona heterogénea. Las imágenes Landsat TM se usan para clasificar la zona de estudio mientras que la temperatura se determina a partir de imágenes NOAA-AVHRR. Hasta ahora en el proceso de corrección geométrica de ambas imágenes

se utilizaba el método de puntos de control tomados sobre la imagen en el caso del sensor TM (resolución de 30 m), y los proporcionados por la empresa suministradora del formato SHARP para las imágenes del sensor AVHRR.

Sin embargo, estos últimos "puntos de control" no se obtienen a partir de una identificación de determinados accidentes geográficos sobre la imagen, sino que se calculan a partir exclusivamente de un modelo orbital. Así pues, se generan automáticamente en la estación receptora y no se controla la calidad de los mismos en el sentido de que no se comprueba que las coordenadas geográficas calculadas en cada punto coincidan con las reales. Además, la generación automática implica el uso de un modelo de Tierra en la que no se tiene en cuenta la topografía, por lo que estos "puntos de control" estarían referidos al nivel del mar.

Este hecho nos ha forzado a modificar la técnica de corrección geométrica de las imágenes NOAA-AVHRR para poder utilizar puntos de control tomados manualmente sobre la imagen. Sin embargo, el conjunto de puntos manuales de control sobre toda una imagen NOAA (toda la Península Ibérica por ejemplo) no puede utilizarse con un algoritmo de corrección de tipo polinómico (tal como se hace con las imágenes Landsat) debido a que las imágenes NOAA muestran unas deformaciones muy acusadas. Igualmente, no pueden tomarse puntos de control

únicamente en la zona de estudio si ésta tiene unos pocos kilómetros cuadrados, especialmente si la zona de estudio no incluye la costa (accidentes geográficos tales como cabos y estrechos son los más adecuados para localizar puntos de control sobre imágenes NOAA). De esta forma, hemos mejorado la técnica de corrección geométrica por ajuste orbital para imágenes AVHRR desarrollada por Badenas *et al.* (1997). Hemos modificado la base teórica de esta técnica para adaptarla al hecho de que en nuestro caso estamos interesados en superficies terrestres con una cierta altura sobre el nivel del mar.

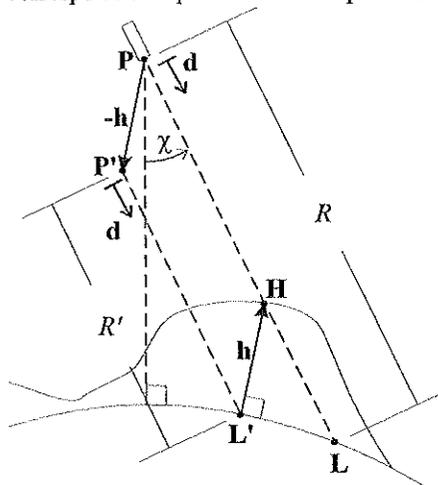
Para comprobar la importancia de tener en cuenta la topografía hemos corregido geoméricamente los canales térmicos de una imagen del NOAA-11 del 28 de Junio de 1991 considerando y sin considerar la topografía existente en la zona de estudio. Con estas imágenes hemos calculado la evapotranspiración real en la zona de Barrax (correspondiente a una de las áreas de estudio del proyecto EFEDA).

### DESARROLLO TEÓRICO

En el trabajo de Badenas *et al.* (1997) se estudia un método de corrección geométrica basado en determinar las coordenadas geográficas (latitud y longitud) de cada píxel de la imagen NOAA-AVHRR a partir del conocimiento de los parámetros orbitales de un satélite NOAA válidos durante la adquisición de la imagen. De esta forma, la aplicación de las ecs. (13)-(24) de Badenas *et al.* (1997) permitía obtener las coordenadas geográficas de un punto sobre la superficie del elipsoide de referencia a nivel del mar.

Si se tiene en cuenta que el punto observado (**H**) por el satélite (que está en el punto **P** del espacio) puede estar a una cierta altura  $h$  sobre el nivel del mar distinta de 0, entonces, las ecs. (21)-(22) de Badenas *et al.* (1997) no permiten determinar este punto **H**, sino el punto **L** sobre el elipsoide de referencia (ver figura siguiente). De la

misma manera, las coordenadas geográficas calculadas ( $lat$  y  $lon$ ) con la ec. (23) no corresponden al punto **H** sino al punto **L**.



De esta forma, resulta evidente que se produce un error en la determinación del punto observado, que depende de la distancia entre **H** y **L**. Para resolver este problema se ha encontrado una solución de aplicación inmediata: Durante la fase de deformación geométrica para cada punto de la imagen corregida se obtienen sus coordenadas geográficas y con éstas se determina la posición del satélite, y la dirección en que está observando, mediante un método numérico de resolución inversa de las ecs. (13)-(23). Así se tiene que para cada punto (**H**) de la imagen corregida se pueden saber su altura sobre el nivel del mar ( $h$ ) y sus coordenadas geográficas ( $lat$  y  $lon$ ), con lo que puede construirse el vector  $h$  perpendicular al elipsoide de referencia que une el punto **L'** en el elipsoide con **H** en la superficie terrestre. Este vector viene dado por:

$$\mathbf{h} = \begin{pmatrix} h \cdot \cos(lon + \dot{\delta} \cdot t) \cdot \cos(lat) \\ h \cdot \sin(lon + \dot{\delta} \cdot t) \cdot \cos(lat) \\ h \cdot \sin(lat) \end{pmatrix}$$

donde  $t$  es el tiempo transcurrido desde el inicio de adquisición de la imagen hasta que el satélite está mirando al punto **H**, y  $\dot{\delta}$  es la velocidad angular de rotación de la Tierra. Entonces, si en las ecs. (21)-(22) se sustituye

$p$  por  $p'$  ( $=p-h$ ), resulta que el punto calculado sobre el elipsoide no es  $L$  sino  $L'$  y la distancia calculada no es  $R$  sino  $R'$ . De esta forma, la ec. (23) aplicada a las componentes del vector  $L'$  proporciona las coordenadas geográficas del punto  $L'$  (que son las del punto  $H$  observado).

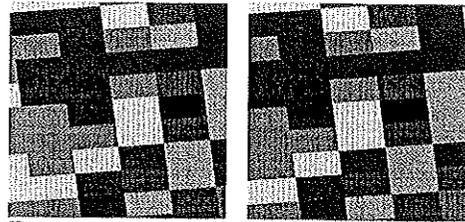
### APLICACIÓN PRÁCTICA

Se han corregido las imágenes correspondientes a los canales térmicos de la escena capturada por el NOAA-11 el 28 de Junio de 1991 durante la órbita 42.074, usando la técnica de Badenas *et al.* (1997) con nuestras modificaciones. Los datos fundamentales para esta corrección han sido: i) el fichero noaa-11.21e, que está en el directorio /pub/space/archives de la máquina ftp://archive.afit.af.mil, para determinar casi todos los parámetros orbitales, ii) 25 puntos de control a nivel del mar sobre la imagen para calcular los dos parámetros restantes, y iii) un fichero conteniendo la topografía de la zona de estudio para el cálculo de  $h$  en cada punto.

Las imágenes Landsat TM se corrigen tomando puntos de control y ajustando a un polinomio de segundo grado para obtener la ecuación de deformación. En este caso, los efectos topográficos se tienen en cuenta implícitamente pues los puntos de control se encuentran sobre la zona de estudio.

Las imágenes TM se utilizan para efectuar una clasificación de los cultivos de la zona. Para cada cultivo se usan sus parámetros característicos: emisividades (cálculo de la temperatura) y coeficientes  $B$  y  $K_e$  (cálculo de la evapotranspiración,  $ET$ ) (Artigao *et al.* 1997)

Con las imágenes térmicas del AVHRR se calcula la temperatura de la superficie terrestre utilizando la ec. (12) de Coll y Caselles (1994), con  $A=2,24$ ,  $\Delta=0,9$  K y una  $B(\epsilon)$  diferente para cada cultivo. Las siguientes figuras muestran la temperatura de la superficie calculada cuando no se tiene y sí se tiene en cuenta la topografía:



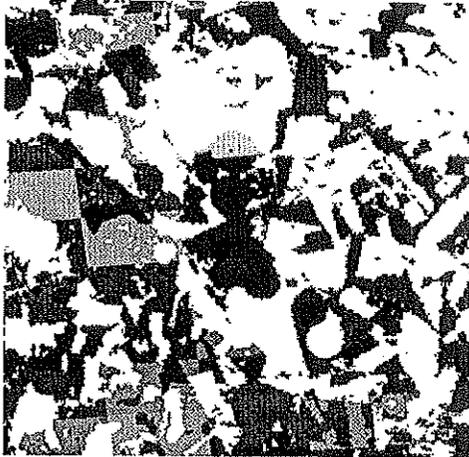
Temperatura de la superficie terrestre ( $^{\circ}\text{C}$ )

39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49

Con estas se calcula la  $ET$  real mediante el modelo desarrollado por Hurtado *et al.* (1994), resultando la siguiente imagen para el caso de no tener en cuenta la topografía: C3



y teniendo en cuenta:



Evapotranspiración ( $\text{mm d}^{-1}$ )

0 1,5 2 2,5 3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5  $\infty$

En estas imágenes sólo se han considerado los cultivos de maíz ( $B=0,76$ )

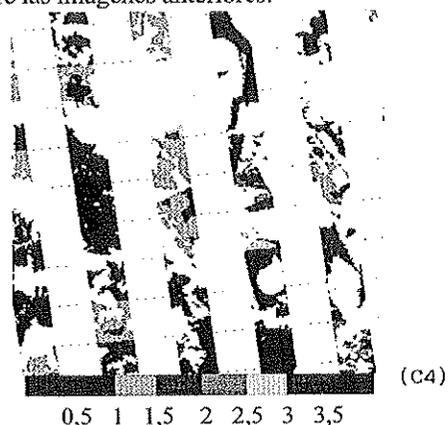
mm d<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, K<sub>c</sub>=0,4, T<sub>min</sub>=314,3 K) y los campos de barbecho (B=0,18 mm d<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>, K<sub>c</sub>=0,35, T<sub>min</sub>=312,9 K). Las estadísticas de estas dos imágenes son las siguientes:

Cultivo	Maíz	Barbecho
ET mínima	2,0 ; 2,0	0,8 ; 0,9
ET máxima	7,7 ; 7,7	2,4 ; 2,4
ET media	4,5 ; 4,7	1,2 ; 1,8
σ(ET)	0,4 ; 0,4	0,5 ; 0,5

en donde hemos separado los datos de cada imagen por un ";". Las unidades son mm d<sup>-1</sup>.

El análisis de estas imágenes y de la tabla anterior indica que se produce un desplazamiento en el mapa de evapotranspiración, al haberse modificado la distribución de la temperatura teniendo en cuenta la topografía del terreno. Si bien es cierto que los valores máximos y mínimos apenas varían, sí se obtiene un valor medio de ET más alto en el caso de corregir las imágenes térmicas teniendo en cuenta la topografía.

La siguiente imagen muestra el valor absoluto de la diferencia de ET (en mm d<sup>-1</sup>) entre las imágenes anteriores:



Esta imagen tiene un máximo de 3,6 mm d<sup>-1</sup>. Este resultado y los anteriores indican lo necesario que resulta tener en cuenta el efecto de la topografía en la corrección geométrica, para obtener valores más exactos de la ET.

*Agradecimientos:* En este trabajo hemos empleado el programa de tratamiento de imágenes ATW, desarrollado íntegramente

por miembros de la Universidad de Valencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Artigao, M. M., 1994, Determinación de la evapotranspiración real en la zona de Barrax (Albacete) mediante el uso combinado de imágenes Landsat TM y NOAA-AVHRR. *Memoria de Trabajo de Investigación, Departamento de Termodinámica, Universidad de Valencia.*
- Artigao, M. M., Hurtado, E., Caselles, V., Casterad, A., y Martínez, A., Estimación de la evapotranspiración en el polígono de regadío de Flumen (Huesca). En *Teledetección: Usos y Aplicaciones*, editado por J. L. Casanova y J. Sanz (Valladolid, Spain: Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Valladolid), pp. 3-10.
- Badenas, C., Caselles, V., Estrela, M. J., y Marchuet, R., 1997, Some improvements on the processes to obtain accurate maps of Sea Surface Temperature from AVHRR raw data transmitted in real time. Part 1: HRPT images. *International Journal of Remote Sensing* (en prensa).
- Coll, C., y Caselles, V., 1994, Analysis of the atmospheric and emissivity influence on the split-window equation for sea surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, **15**, 1915-1932.
- Hurtado, E., Artigao, M. M., y Caselles, V., 1994, Estimating maize (zea mays) evapotranspiration from NOAA-AVHRR thermal data in the Albacete area, Spain. *International Journal of Remote Sensing*, **15**, 2023-2037.
- Hurtado, E., Caselles, V., y Artigao, M. M., 1995, Mapping actual evapotranspiration by combining Landsat-TM and NOAA-AVHRR images in the Barrax (Albacete) region, Spain. *Bulletin Societé Française de Photogrammetrie et Télédétection*, **137**, 47-49.