

## CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES DE SATÉLITE MEDIANTE TRANSFORMACIÓN A.C.P.

S. GARCÍA-LÓPEZ, C. PINILLA, J. DELGADO y J. CARDENAL

sgarcia@ujaen.es

*Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén  
C/Virgen de la Cabeza, 2 23071 Jaén*

**RESUMEN:** Se presenta un método sencillo para la eliminación o reducción del efecto de la turbidez o falta de transparencia de la atmósfera producido sobre imágenes multiespectrales como Landsat-ETM, que hayan sido adquiridas en situaciones meteorológicas no óptimas. A diferencia de otros procedimientos, es aplicable sin necesidad de disponer de información adicional relativa a las características ópticas de la atmósfera en el momento de la adquisición y permite el tratamiento del efecto atmosférico aunque su intensidad presente una distribución espacial irregular. Básicamente, consiste en la realización de una transformación a componentes principales, seguida de una expansión de contraste en cada uno de los componentes generados, para posteriormente realizar la transformación inversa, aislando de esta manera el efecto que se pretende eliminar. Una vez aislado el efecto de la nubosidad, resulta inmediata la corrección de cada una de las bandas originales mediante sustracción.

**ABSTRACT:** A simple method using no external parameters is proposed for removing the inhomogeneous effect of haze on multispectral satellite images like Landsat ETM images. The method lies in a sequence of digital processing operation: principal components analysis (PCA), contrast stretch and inverse transformation PCA. The goal is to generate, for every original band, a new band whose DN values are only related to the atmospheric intensity effect, and then, to carry out the correction by subtraction.

**Palabras clave:** corrección atmosférica, ACP, nubosidad tenue, Landsat-ETM, imagen multiespectral.

### INTRODUCCIÓN

En este trabajo se expone un método de mejora de la calidad radiométrica aplicable a imágenes de satélite adquiridas por sensores multiespectrales (Landsat, SPOT, JERS, IRS, etc.) en situaciones meteorológicas que impliquen poca claridad, por ejemplo con nubosidad tenue y fina o emisiones de humos u otros procesos contaminantes que afectan de forma heterogénea en el espacio. Con este procedimiento, basado únicamente en la información proporcionada por la propia imagen, se pretende reducir o eliminar en lo posible el efecto atmosférico causado por fenómenos de absorción y dispersión producidos por el vapor de agua y aerosoles, que generan turbidez y restan nitidez a la atmósfera.

El método no se basa en un análisis físico del fenómeno y su posterior modelización, sino que a partir de los efectos producidos por la nubosidad sobre las distintas bandas de la imagen y mediante operaciones consecutivas de tratamiento digital se persigue aislar la radiancia atribuible a la superficie terrestre, de la relacionada con la dispersión atmosférica. Se parte pues de un desconocimiento a priori de la intensidad y distribu-

ción espacial del fenómeno que se pretende corregir, al desconocer las características ópticas de la atmósfera en cada punto en el momento de la adquisición de la imagen.

El método propuesto está basado en el Análisis de Componentes Principales (ACP) que es un procedimiento mediante el cual se transforma un conjunto de variables correlacionadas (las bandas de la imagen multiespectral) en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas (denominados componentes) mediante combinación lineal de los datos originales. Geométricamente, supone una rotación de los ejes originales hasta conseguir para éstos unas nuevas orientaciones ortogonales según la máxima variabilidad de los datos. Tradicionalmente, esta transformación ha sido utilizada para compactación de información (Abouseleman *et al.*, 1994) y análisis de datos multidimensionales con redundancia, especialmente en investigación geológica (Ruizarmata and Prolledesma, 1998), estudios multitemporales (Verhoeve and Dewulf, 1999) e incluso realce de imágenes (Gillespie, 1992).

Otras transformaciones globales que han sido utilizadas para corregir parcialmente el efecto atmosférico son la Tasseled Cap (Lavreau 1991, Richter 1996) y los cocientes entre bandas (Carnahan *et al.*, 1984).

### IMAGEN EN ESTUDIO

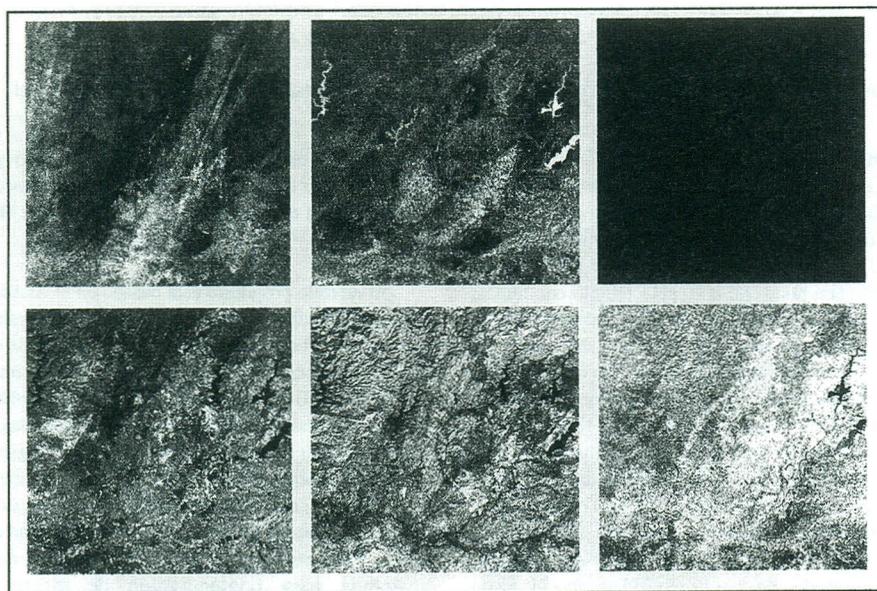
El tratamiento se ha llevado a cabo sobre una porción de imagen de una escena adquirida por el sensor Enhanced Thematic Mapper de Landsat-7. La imagen original (path 200, row 34) fue capturada el día 1 de noviembre de 1999 sobre el sur de la Península Ibérica. En esa fecha la situación meteorológica regional era anticiclónica, con cielos casi despejados con algunos intervalos de nubes tenues medias y altas (cirro-estratos) asociadas al paso por la Península Ibérica, de oeste a este, de un frente frío de poca importancia. Para el tratamiento propuesto sólo se consideran las 6 bandas multispectrales del espectro de reflexión.

En la selección de la imagen se buscó que hubiera una amplia variabilidad de factores geográficos influyentes sobre las características espectrales de las cubiertas terrestres, al objeto de chequear el método en circunstancias de elevada variabilidad. Así en el área sobre la que se extiende la imagen se pueden identificar

diversas litologías de origen ígneo, metamórfico y sedimentario (granitos, pizarras, areniscas, margas, aluviales, etc.), diversos tipos de relieve (llano, ondulado, montañoso), una gran variedad de tipos de vegetación (arbolado, olivar, regadío, secano, desnudo) y diversas formas de ocupación del suelo (embalses, urbano, agrícola, forestal, industrial).

### PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN

El algoritmo propuesto consiste en la realización de varias operaciones concatenadas de tratamiento digital: transformación a componentes principales (ACP), expansión de contraste, transformación inversa ACP, filtrado, reescalado y sustracción. La idea es generar una imagen-máscara cuyos valores nulos se correspondan con las porciones de la imagen en las que el efecto a corregir sea insignificante, mientras que en el resto se establezca una graduación en los niveles digitales de acuerdo con la intensidad del fenómeno a corregir, para cada banda. Posteriormente se pretende eliminar la radiancia adicional aportada a la imagen por la nubosidad mediante una sencilla operación aritmética, restando a la imagen original, la máscara obtenida.



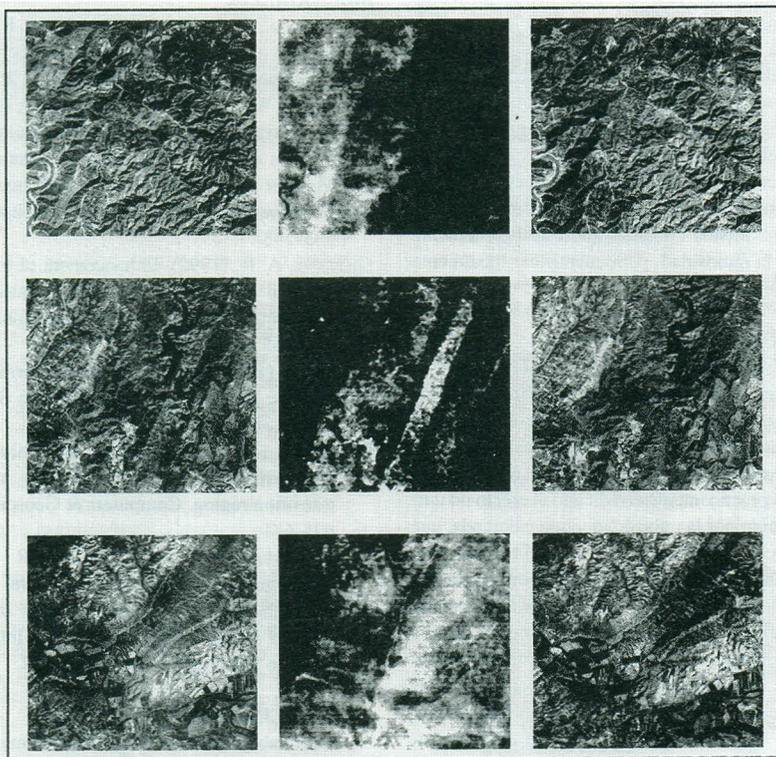
**Figura 1.** Bandas generadas mediante la transformación ACP inversa a partir de los componentes principales expandidos al intervalo 0-255. Obsérvese que la banda primera (superior izquierda) contiene casi en exclusiva el efecto atmosférico de la nubosidad. Esta banda, denominada en el texto «banda nubosidad», permite crear una máscara de corrección. Nota: el tamaño de la imagen es de 1600 x 1600 celdillas (48 x 48 km).

Mediante la primera transformación (ACP) se consigue, como ya se ha indicado, reorganizar de forma no redundante la información original, generando varias bandas (componentes) por combinación lineal de las bandas originales. Tras la operación, se observa cómo ha sido prácticamente excluido el efecto atmosférico del primer y segundo componente en los que se reúne la mayor parte de la variabilidad total de la imagen original. El efecto atmosférico se reparte principalmente por los componentes 3, 4 y 5, que, sin embargo, contienen una proporción minoritaria de información. Es por ello, que al someter posteriormente a cada uno de los componentes a una expansión lineal, para dotarles del rango habitual de 255 niveles, forzamos el aumento relativo de variabilidad de estos últimos componentes respecto de los primeros. Si realizamos a continuación una transformación ACP inversa, partiendo de los componentes expandidos, reconstruimos la imagen original, si bien acentuando notablemente la información incluida en los

últimos componentes y minimizando la incluida en los primeros, es decir, la mayor parte de la información. De esta forma, hemos conseguido generar una banda artificial, que denominamos «banda nubosidad» en donde se realiza notablemente el efecto atmosférico (Figura 1).

Estas tres operaciones, ACP directo, expansión y ACP inverso están implementados en algunos software de tratamiento de imágenes de satélite, como por ejemplo ENVI, en la rutina denominada «Decorrelation Stretch», si bien pueden presentar, como en el caso citado, una limitación del número de bandas de partida a tres.

Llegado a este punto es necesario realizar un filtrado de paso bajo, que reduzca el efecto de ruido concentrado en la «banda nubosidad» al afectar este defecto radiométrico en igual sentido a la totalidad de las bandas originales. Filtros de mediana de  $3 \times 3$  ó de  $5 \times 5$  se han demostrado muy efectivos para alcanzar este objetivo.



**Figura 2.** Detalles de la imagen ETM considerada en este trabajo. Izquierda: composición RGB 321 con los datos originales. Centro: «banda nubosidad» generada por el método propuesto y utilizada en la corrección. Derecha: composición RGB 321 con los datos corregidos de efecto atmosférico.

(Ver figura en color en la página 681)

BANDA	ND medio en parcela de control	
	sin nubosidad	con nubosidad
1	54	67
2	35	46
3	27	40
4	16	33
5	13	32
7	12	23

**Tabla 1.** ND medio (para cada banda) de dos parcelas contiguas establecidas sobre una misma cubierta (embalse), con y sin nubosidad.

Para finalizar el proceso de tratamiento digital, se realiza una expansión lineal por selección directa de la «banda nubosidad», fijando dos umbrales, uno inferior, por debajo del cual los niveles digitales se hacen cero y otro superior, por encima del cual los niveles digitales se igualan a 255. Tras reescalar la imagen así generada entre 0 y el máximo de intensidad atribuible a la nubosidad en cada banda, se consigue una imagen-máscara en la que queda aislado el efecto atmosférico que se pretende contrarrestar. Si restamos a cada banda de la imagen original la máscara, conseguimos eliminar o en todo caso reducir el efecto de la nubosidad. Hay que advertir que para el reescalado antes mencionado es útil considerar dos campos de la imagen ocupados homogéneamente por una misma cubierta, que esté parcialmente afectada por la nubosidad, para cuantificar localmente su efecto (Tabla 1).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se muestran varias subimágenes en color verdadero que representan áreas geográficas de muy diferentes características, a la izquierda con anterioridad al tratamiento, a la derecha con posterioridad al mismo. Puede apreciarse a simple vista en estas últimas cómo ha sido prácticamente erradicado el efecto no uniforme producido por la nubosidad tenue y delgada, que sin llegar a ocultar la señal procedente del terreno, producía tonalidades azuladas en la imagen compuesta original. Tal coloración estaba motivada por la mayor intensidad relativa del fenómeno dispersivo en el canal 1 (0.45-0.52  $\mu\text{m}$ ). En esta misma figura se sitúan entre las subimágenes previas y posteriores a la corrección, las correspondientes porciones de la banda auxiliar generada mediante este método, que concentra el efecto atmosférico. Hay que advertir, que no se consigue aislar completamente y de forma individual la componente de señal capturada por el sensor atribuible a la nubosidad, sino que persiste una cierta influencia de las cubiertas infrayacentes, cuando éstas presentan un comportamien-

to espectral semejante a la propia nubosidad. Así, en algunos sectores pueden observarse rasgos lineales relacionados, más que con ésta, con cierto tipo de cubiertas (infraestructuras lineales, terrenos urbanos). Evidentemente, en tales sectores el método propuesto producirá una sobrecorrección del efecto atmosférico.

## CONCLUSIONES

El método propuesto es sencillo y fácil de aplicar, permitiendo la eliminación parcial del efecto producido por la nubosidad tenue y/o el contenido abundante de aerosoles atmosféricos, sin necesidad de utilizar datos adicionales. Se consigue una notable mejoría de la imagen, aislando en su mayor parte la radiancia de origen atmosférico de intensidad no uniforme, del resto, mejorando con ello la correspondencia entre la señal capturada por el sensor y las características físicas (reflectancia) de las cubiertas terrestres.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABOUSLEMAN, G. P., GIFFORD, E. y HUNT, B. R. (1994). Enhancement and compression techniques for hyperspectral data. *Opt. Eng.*, 33, 8, 2562-2571.
- CARNAHAN, W. H., MAUSEL, P. W. y ZHOU, G. P. (1984). Evaluation of atmospheric particulate concentrations derived from analysis of ratio Thematic Mapper data. *Proceedings 10th Int. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, pp. 235-243.
- GILLESPIE, A. R. (1992). Enhancement of multispectral thermal infrared images-decorrelation contrast stretching. *Remote Sensing of Environment*, 42, 2, 147-155.
- LAVREAU, J. (1991). De-hazing Landsat Thematic Mapper images. *Photogr. Engin. & Remote Sensing*, 57, 1297-1302.
- RICHTER, R. (1996). Atmospheric correction of satellite data with haze removal including a haze/clear transition region. *Computers & Geosciences*, 22, 6 675-681.
- RUIZARMENTA, J. R. y PROLLEDESMA, R. M. (1998). Techniques for enhancing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in Thematic Mapper images of Central Mexico. *Int. Journal of Remote Sensing*, 19, 10, 1981-2000.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto de Investigación CICYT de referencia HID98-0983, dentro del Programa Nacional de Recursos Hídricos, financiado por la Secretaría de Estado de Universidades Investigación y Desarrollo.