

## CADENA DE PROCESADO DE IMÁGENES LANDSAT PARA LA GENERACIÓN DE MOSAICOS A ESCALA REGIONAL

J. Amorós-López (\*), L. Gómez-Chova (\*), E. Izquierdo (\*), G. Camps-Valls (\*), J. Calpe (\*), L. Guanter (\*\*),  
L. Alonso (\*) y J. Moreno (\*).

(\*) *Image Processing Laboratory (IPL), Universitat de València. P.O. 22085; E-46071-Valencia.*  
*julia.amoros@uv.es.*

(\*\*) *GeoForschungsZentrum Potsdam, Remote Sensing Section, Telegrafenberg, D-14473, Potsdam, Germany*

### RESUMEN

Actualmente existe una gran demanda de imágenes multiespectrales de satélite para la realización de estudios locales o regionales. En función del campo de visión del instrumento y de la extensión de la región a analizar, ésta puede no estar comprendida completamente en una única imagen o adquisición. En estos casos, es imprescindible generar un mosaico del área de estudio obtenido a partir de varias imágenes.

El presente estudio detalla la cadena de procesado empleada para la obtención de mosaicos a escala regional o nacional usando imágenes Landsat. La generación de series temporales de estos productos es necesaria para obtener posteriormente productos más elaborados. En las primeras etapas de procesado se realiza la corrección geométrica, la corrección de iluminación teniendo en cuenta la topografía del terreno (MDT) y la corrección atmosférica. El mosaico final se realiza a partir de las imágenes de reflectividad de la superficie ajustando, mediante un proceso de balance de color, las áreas de solape entre las imágenes para evitar que la imagen compuesta presente diferencias entre las adquisiciones utilizadas. Los resultados de la cadena de procesado propuesta se ilustran en este trabajo para dos mosaicos completos de la Comunidad Valenciana de los años 2000 y 2005.

### ABSTRACT

Nowadays, there is an increasing demand for remote sensing images (or attendant products) that cover a wide study area. Depending on the field of view of the instrument, and the extension of the region under analysis, the whole area can not match if only one acquisition is used. In these cases, it is essential to generate a mosaic of the study area by combining multiple images.

This paper details the process to obtain mosaics at regional or national scale using Landsat images. Time series products of these mosaics are required in order to obtain further derived/complex products. In the first stages, a geometric correction, an illumination correction using the digital elevation model, and an atmospheric correction are performed to the different acquisitions. The final mosaic is formed from the reflectance images by adjusting, through a colour balance process, the overlapped areas between images to avoid a final composition image (mosaic) with differences between the acquisitions. Results of the proposed process are shown in this work for two mosaics of the Valencia region (Spain) in 2000 and 2005.

**Palabras clave:** Landsat, mosaico, procesado de imágenes, corrección geométrica, corrección radiométrica, corrección atmosférica.

### INTRODUCCIÓN

El aumento de la calidad y la mayor disponibilidad de imágenes multiespectrales de satélite han provocado una demanda cada vez mayor de este tipo de información por parte de administraciones y empresas. Gracias a su extensa cobertura espacial y alta resolución temporal, estos datos permiten un análisis continuo y eficaz de la superficie terrestre y de los cambios temporales que ocurren en la misma, a la vez que se reducen los costes en comparación con estudios de campo más tradicionales. Normalmente, los usuarios finales de estas imágenes desean un producto que cubra una determinada área de estudio (provincia, comunidad

autónoma o toda la península) que, en función del sensor utilizado y el área a cubrir, suele no estar comprendida completamente en una única imagen o adquisición. En estos casos, es imprescindible generar un mosaico del área de estudio a partir de la unión de un conjunto de imágenes de diferentes adquisiciones. En este tipo de aplicaciones, además de la precisión (radiométrica/geométrica) de las imágenes individuales, es imprescindible proporcionar también una homogeneidad espacial y temporal del mosaico que asegure la consistencia radiométrica requerida en la explotación de los datos (monitorización, análisis multitemporales, detección de cambios, etc.). Esta homogeneidad espacial y temporal requiere la corrección de los efectos de la

iluminación y de la atmósfera sobre la señal adquirida con el fin de obtener imágenes de reflectividad en superficie que sean independientes de estos factores, y que permitan extraer información cuantitativa de manera consistente y robusta. Este proceso es crítico, ya que determina la calidad final de los estudios o productos derivados de los mosaicos. La cadena de procesado de imágenes Landsat para generar mosaicos a nivel regional se ilustra para el caso de la Comunidad Valenciana (España), donde son necesarias cinco adquisiciones para cubrir toda el área de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los sensores TM y ETM+ a bordo de los últimos satélites de la serie Landsat presentan un sistema multiespectral de adquisición de imágenes con una alta resolución espacial y gran precisión radiométrica. Estos sensores adquieren simultáneamente 7 bandas espectrales desde NADIR con una resolución temporal de 16 días. El tamaño de la escena es de 185×172km, ó 5760 × 6928 píxeles. La banda térmica presenta una resolución espacial de 120m (TM) ó 60m (ETM+). El resto de bandas miden en el visible e infrarrojo con 30m de resolución. En este artículo, las imágenes utilizadas fueron adquiridas por el sensor Landsat 7 ETM+ (Goward and Williams 1997), pero la cadena de procesado desarrollada puede aplicarse también al sensor TM. Las imágenes para formar los mosaicos de la Comunidad Valenciana de los años 2000 y 2005 se seleccionaron en función de su proximidad temporal y la menor cobertura de nubes. En la primera etapa de la cadena de procesado se realizan las correcciones geométrica y radiométrica de cada imagen. Posteriormente se calcula la reflectividad de la superficie terrestre realizando una corrección atmosférica y de iluminación. En la etapa final se genera el mosaico a partir de las imágenes de reflectividad. A continuación se detallan cada una de estas etapas:

### Corrección geométrica

La georeferenciación de las imágenes Landsat fue proporcionada por IMAGE2000 en el marco del proyecto CORINE Land Cover (Joint Research Center, 2008), y presentan un error RMSE menor de 25m.

### Corrección radiométrica

Una vez corregidas geométricamente las imágenes, se procede a transformar la imagen original en cuentas digitales a radiancia en el techo de la atmósfera (*Top Of Atmosphere*, TOA), y posteriormente a la obtención de la reflectividad aparente TOA. La conversión de cuentas digitales

a radiancias (W/m<sup>2</sup>/sr/μm) en el techo de la atmósfera se realiza aplicando a cada banda espectral la relación:

$$L_{TOA} = L_{min} + \left( \frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{max} - Q_{min}} \right) \cdot DN$$

donde DN son cuentas digitales (0-255), L<sub>max</sub> y L<sub>min</sub> son las radiancias espectrales máxima y mínima; Q<sub>max</sub> y Q<sub>min</sub> son los valores máximo y mínimo en cuentas digitales (normalmente Q<sub>max</sub>=255 y Q<sub>min</sub>=0).

### Reflectividad de la Superficie Terrestre

En primer lugar se obtiene la reflectividad en la parte alta de la atmósfera ( $\rho_{TOA}$ ) a partir de la radiancia ( $L_{TOA}$ ), calculándose para cada banda según la siguiente ecuación:

$$\rho_{TOA} = \frac{\pi L_{TOA}}{E_0 \mu_s}$$

donde L<sub>TOA</sub> es la radiancia espectral medida por el sensor; E<sub>0</sub> es la irradiancia solar exoatmosférica corregida de las variaciones inter-anuales de la distancia Tierra-Sol; y  $\mu_s$  es el coseno del ángulo solar cenital.

Posteriormente, para obtener un producto más elaborado como la reflectividad de la superficie hay que eliminar la contribución de la atmósfera a la radiancia que recibe el sensor. En una primera fase se estiman los parámetros atmosféricos necesarios para la cuantificación del efecto atmosférico sobre la radiación. A continuación, en una segunda fase, se desacoplan los efectos de superficie y atmósfera, para después derivar la reflectividad de la superficie teniendo en cuenta la influencia de la iluminación y la topografía del terreno, así como el efecto de adyacencia. La metodología empleada es similar a la corrección atmosférica usada en imágenes MERIS (Guanter et al. 2008).

La señal en el techo de la atmósfera medida por el sensor se define teniendo en cuenta que Landsat no proporciona medidas multiangulares y que las escenas son adquiridas aproximadamente desde NADIR. En consecuencia, la hipótesis Lambertiana (Nicodemus et al. 1997) es utilizada para simular la radiancia medida por el sensor en el techo de la atmósfera:

$$L_{TOA} = L_0 + \frac{1}{\pi} \frac{\rho_s (E_{dir} \mu_{il} + E_{dif}) T_\uparrow}{1 - S \rho_s}$$

donde L<sub>TOA</sub> es la radiancia TOA medida por el sensor; L<sub>0</sub> es la radiancia atmosférica del camino óptico;  $\mu_{il}$  es el coseno del ángulo cenital de iluminación, medido entre el rayo solar y la normal a la superficie; E<sub>dir</sub> $\mu_{il}$  y E<sub>dif</sub> son los flujos directos y difusos que llegan a la superficie, respectivamente; S es el albedo esférico de la atmósfera; T<sub>↑</sub> es la

transmitancia atmosférica total (para la radiación directa más la difusa) en la dirección de observación; y  $\rho_s$  es la reflectividad de la superficie que se obtiene de la inversión analítica de  $L_{TOA}$ . El código de transferencia radiativa 6S (Vermote et al. 1997a, b) se usa para obtener los parámetros atmosféricos necesarios en la inversión del modelo y que se almacenan en una *look-up table* (LUT). Posteriormente, los parámetros atmosféricos necesarios para calcular la reflectividad de la superficie se estiman para cada imagen mediante una interpolación multidimensional en la LUT.



**Figura 1.-** Imagen LANDSAT de la Comunidad Valenciana adquirida el 26-06-2005.

La primera etapa del algoritmo consiste en la generación de una máscara de píxeles con nubes o agua para no tenerlos en cuenta en la estimación de la carga de aerosoles y del vapor de agua. Posteriormente se realiza la corrección atmosférica estimando los parámetros mediante el uso de la LUT. Finalmente, se corrigen los efectos de la

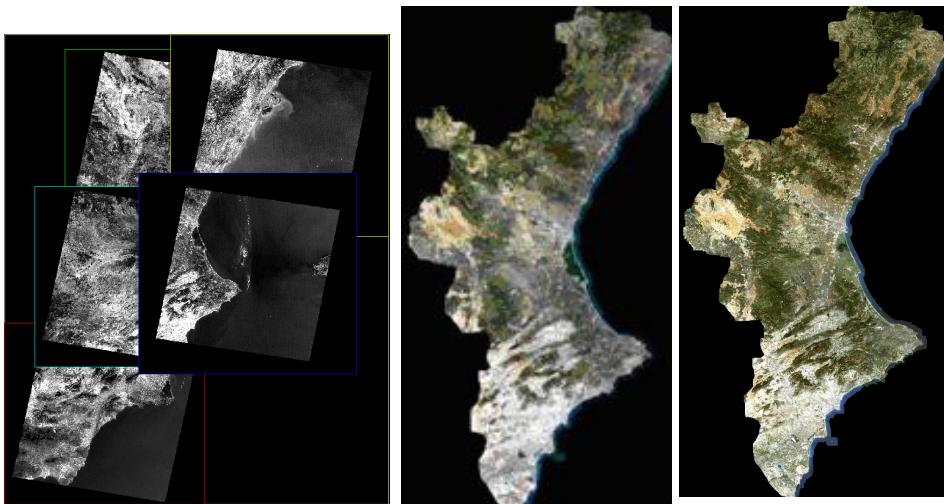
topografía del área observada (pendiente y orientación de la superficie) ya que modifica la distribución de irradiancia directa y difusa que llega al sensor. Un modelo digital de terreno (MDT) de 5m de resolución se usa para calcular la dirección normal a la superficie en cada píxel, de manera que el ángulo de iluminación se obtiene a partir del producto escalar del ángulo de iluminación nominal y el vector normal. El coseno del ángulo de iluminación calculado es aplicado al pesado de las contribuciones de radiación directa y difusa mediante la ley del coseno y el modelo de Hay (Hay 1979). La figura 1 muestra un ejemplo de una imagen Landsat de la Comunidad Valenciana adquirida el 26-06-2005. En la figura 2 se representa el MDT de la imagen de ejemplo, así como las variaciones de  $\mu_{hi}$ , donde se observa que éstas son mayores en las superficies montañosas, identificándose con facilidad las zonas iluminadas o en sombra.

#### Generación del mosaico

En la última etapa del procesado se realiza la unión de las imágenes corregidas atmosféricamente para formar una única imagen final que cubra toda el área de estudio. Las imágenes se combinan ajustando el histograma de una de ellas respecto de otra de referencia. En la obtención del ajuste sólo se tiene en cuenta el área de solape entre las imágenes que después se aplica a toda la imagen. Finalmente, los bordes de las imágenes con eliminados y se aplica un suavizado en la unión entre las imágenes para evitar discontinuidades.



**Figura 2.-** Modelo digital de terreno de 5 m de resolución (izquierda). Coseno del ángulo de iluminación y la normal a la superficie ( $\mu_{hi}$ ) calculado empleando el MDT para cada adquisición (centro). Imagen final corregida atmosféricamente teniendo en cuenta la elevación del terreno y la iluminación (derecha).



**Figura 3.-** Imágenes LANDSAT corregidas geométricamente utilizadas para generar el mosaico de la Comunidad Valenciana del año 2000 (izquierda). Mosaicos de la Comunidad Valenciana del año 2000 (centro) y 2005 (derecha) generados con la cadena de procesado de imágenes Landsat.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La cadena de procesado descrita para obtener mosaicos de imágenes Landsat se ha aplicado a dos series de adquisiciones de la Comunidad Valenciana de los años 2000 y 2005 (Figura 3). Los productos de reflectividad de la superficie obtenidos permiten realizar estudios posteriores que requieran que las contribuciones de la iluminación y de la atmósfera hayan sido eliminadas. Además, en la fase final se comprueba que la imagen final compuesta no presente discontinuidades en ninguna de las bandas entre cada una de las adquisiciones utilizadas. Esta cadena de procesado de imágenes Landsat permite obtener mosaicos a escala regional o estatal. Estos mosaicos en reflectividad de la superficie terrestre presentan una alta homogeneidad espacial y temporal, lo que permite elaborar estudios/productos de calidad a partir de estas imágenes.

## BIBLIOGRAFÍA

Goward, S.N., Williams, D.L. 1997. Landsat and Earth Systems Science: Development of terrestrial monitoring. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 63, 887–900.

Guanter, L., Gómez-Chova, L., and Moreno, J. 2008. Coupled retrieval of aerosol optical thickness, columnar water vapour and surface reflectance maps

from ENVISAT/MERIS data over land. *Remote Sensing of Environment*, 112(6), 2898–2913.

Joint Research Center, 2008. *Proyecto IMAGE2000 y Corine Land Cover 2000*, <http://image2000.jrc.ec.europa.eu> (accedido el 31-03-2009).

Nicodemus, F.E., Richmond, J. C., Hsia, J.J., Ginsberg, I.W., Limperis, T. 1977. Geometrical considerations and nomenclature for reflectance. *Tech. Rep., National Bureau of Standards, US Department of Commerce*, Washington, DC, USA.

Vermote, E. F., Tanré, D., Deuzé, J.L., Herman, M., Morcrette, J. J. 1997. 6S User Guide Version 2. *Tech. rep.*

Vermote, E.F., Tanré, D., Deuzé, J. L., Herman, M., Morcrette, J.J., 1997b. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 35, 675–686.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia bajo el proyecto EODIX (AYA2008-05965-C04-03) y por el Instituto Cartográfico Valenciano (ICV) que ha proporcionado el acceso a las imágenes.