

## MÉTODO DE SEGMENTACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE MOSAICOS CON IMÁGENES DEL SATÉLITE LANDSAT (TM)

J.M<sup>a</sup>. Escribá, J. García-Consuegra, S. Castaño

Sección de Teledetección y G.I.S, Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario, 02071, ALBACETE, España

**ABSTRACT:** In this paper, different techniques ([2], [21],[22] y [23]) to generate mosaics in grey scale. are analysed and compared. Furthermore, a new semi-automatic approach to resolve the problems not covered by the formers is introduced, with the aim of giving a more visual and coherent aspect.

### RESUMEN

En este trabajo se analizan y comparan varias de las técnicas propuestas ([2], [21],[22] y [23]) para la generación de mosaicos en escala de grises. Se introduce un nuevo enfoque semi-automático que resuelve aquellos problemas no abordados por los anteriores, en un intento de darle un aspecto visual más agradable y coherente.

### INTRODUCCIÓN

Por mosaico entendemos, de una manera formal, la *imagen resultante de la unión o fusión, mediante parámetros geográficos, de imágenes de satélite.*

La generación de un mosaico está sujeta a las características intrínsecas de las imágenes que lo forman: condiciones de adquisición y elementos representados. Así, las primeras influirán en los niveles de gris (humedad, estado fenológico de los cultivos, nubes, etc.), mientras que las segundas lo harán en la naturaleza de los elementos representados (cambios humanos, incendios, cultivos cosechados, etc.).

En este trabajo se comparan las diferentes técnicas habituales (en función de condiciones de adquisición y elementos representados) y se ofrece una nuevo enfoque para la generación de mosaicos (en escala de grises) de imágenes captadas por el sensor TM (satélite Landsat de la serie 5).

En un primer apartado, este trabajo aborda la problemática para la generación de mosaicos de imágenes satélite. A continuación se comparan las metodologías propuestas. En el siguiente apartado, se muestran los resultados de aplicar las distintas metodologías a tres imágenes Landsat. Se finaliza el trabajo con un apartado con las conclusiones obtenidas.

### PROBLEMÁTICA EN SU REALIZACIÓN

Como ya se ha comentado, en el proceso de generación de mosaicos influyen las condiciones de adquisición y los elementos representados. Cuando los elementos representados son diferentes en las áreas de solape entre las imágenes que forman el mosaico, influirán de manera brusca en los niveles radiométricos registrados. Ejemplos claros serían pivots con cultivos de distinto estado fenológico o con cultivos distintos, incendios, construcciones humanas, etc.. Este problema resalta de manera especial cuando estos elementos se encuentran en el borde de las áreas de solape (ver fig. 3).

Por otro lado, las alteraciones en las imágenes del mosaico, debidas a las condiciones de adquisición, se pueden agrupar en función de sus causas en:

-a) deformaciones geométricas: debidas a varios factores, entre los que cabe mencionar los siguientes [6]: la curvatura de la tierra, su movimiento de rotación, desviaciones de la plataforma de su órbita y las variaciones en la posición del sensor en el espacio que ocasiona que no observe de una manera perpendicular a la superficie de la tierra. Para poder formar un mosaico, es obligado la corrección de esta deformación, junto a la necesidad de emplear un sistema de referencia común [1] a todas las imágenes o escenas que lo componen. Para ello, se emplea la georreferenciación, ya sea mediante el método orbital [18] o bien mediante puntos de control [16] [3]. El preprocesamiento (que mitigará de manera gradual los errores presentes en los mosaicos generados) sobre las imágenes antes de su unión establece la diferencias entre las metodologías aquí recogidas.

-b) diferencias en las condiciones de adquisición de la imagen, motivadas por la diferencia temporal del paso del satélite por dos órbitas contiguas, que se traducen en una diferencia radiométrica importante (en los niveles digitales) entre las imágenes que forman el mosaico.

-c) errores radiométricos presentes en las mismas: error debido a la presencia de la atmósfera que se interpone a la radiación electromagnética (existencia de cobertura nubosa en el momento de la captación, presencia de aerosoles, condiciones

climáticas, etc.), grupos de píxeles que se pierden (dentro de este error, podemos incluir la presencia de la cobertura nubosa que oculta la información procedente de los píxeles encontrados bajo ella), efecto orográfico o topográfico, que provoca zonas de sombras en las imágenes, dependiendo de la posición del sol y del sensor en el momento de la captura, y por último, un posible descalibrado del sensor que ocasiona el fenómeno *striping* o bandeado.

## METODOLOGÍA

Se estudian primero, los métodos clásicos referenciados en la bibliografía y se propone uno nuevo (al que hemos denominado *segmentación*, por su similitud con las técnicas de reconocimiento de formas), que intenta disminuir en lo posible los errores presentes en los mosaicos generados por los otros métodos.

### 3.a. Método I

Consiste en la unión de imágenes ya georreferenciadas [2] [21] [23] siguiendo el sistema de referencia global elegido. Este método presenta serias deficiencias en el mosaico final motivadas por las diferencias radiométricas globales (estadísticas de primer orden) de las imágenes georreferenciadas. Este hecho se agrava por la unión de las imágenes a través de líneas rectas (debido a la propia geometría de la imagen), siendo estas estructuras fácilmente distinguibles por el ojo humano. A ello se suma, la existencia de cultivos en distinto estado fenológico, presentes en la línea de unión de las imágenes.

### 3.b. Método II

Derivado del método anterior, y en un intento de reducir la diferencia radiométrica entre las imágenes que componen el mosaico, este método centra su esfuerzo en la reducción de los posibles elementos de error radiométricos presentes en cada una de ellas, detallados anteriormente.

Las correcciones radiométricas aplicadas en este caso son:

- a) *corrección del efecto atmosférico* [3] [16] [19].
- b) *corrección de la descalibración del sensor* [3] [10] [16].
- c) *corrección del efecto orográfico* [4] [7] [8] [9] [11] [12] [17].
- d) *corrección de grupos de píxeles que se pierden* [16].

Este método no realiza un ajuste radiométrico significativo entre las imágenes, presentando el mosaico los mismos problemas que en el método anterior. Este resultado, contrario al esperado, supone cambiar la estrategia del estudio, ponderando más las diferencias entre las imágenes

que considerando de forma individual cada una de ellas.

### 3.c. Método III (método relativo) [22]

Este método se basa en el conocimiento de las diferencias observadas (estadísticas de primer orden) entre las zonas comunes entre las imágenes que componen el mosaico. Una vez conocidas estas variaciones, se aplica una transformación a una de las imágenes A para hacerla coincidir con la otra, que permanece fija B (caso de dos imágenes). Esta transformación consiste en modificar los valores radiométricos de la imagen A, para así ajustar sus estadísticas a la imagen de referencia B. La modificación es una operación de multiplicación (ganancia) y de suma (offset) sobre los niveles digitales de la imagen a transformar. Si queremos ajustar  $n$  imágenes con  $m$  relaciones entre ellas, tendremos un sistema de  $2m+2$  ecuaciones con  $2n$  incógnitas.

Desarrollando matemáticamente y utilizando el criterio de mínimos cuadrados [5] [20] (que hace mínima la suma de los cuadrados de los residuos), la solución se obtiene resolviendo el sistema de  $2n$  ecuaciones con  $2n$  incógnitas siguiente:

$$X = A^T \cdot B \cdot (A^T \cdot A)^{-1}$$

donde:

- A: matriz de coeficientes;
- B.: vector de términos independientes;
- X:  $(a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_n)^T$ , es el vector columna de las incógnitas.

Los resultados obtenidos por este método son más acordes con los objetivos marcados en el estudio. El mosaico resultante es muy homogéneo, pero los resultados siguen siendo parciales, debido a la unión de las imágenes mediante líneas rectas.

### 3.d. Método IV (segmentación)

Tradicionalmente se evita la unión de las imágenes mediante líneas rectas, realizándola a base de curvas escogidas manual e intuitivamente. Estas líneas curvas siguen estructuras presentes en la imagen, y resultan difícilmente distinguibles por el ojo humano.

La mejor línea de unión será aquella cuya traza siga el borde de los objetos (parcelas, pivots de riego, carreteras, ferrocarriles, ríos, desastres como incendios, etc.) encontrados en la imagen.

Nuestro aporte es facilitar la traza de la línea de unión de las imágenes. Para ello, y de una manera automática, extraemos las zonas de solape correspondientes a las imágenes; posteriormente, y de forma transparente al usuario, calculamos la diferencia de las zonas de solape, a fin de resaltar únicamente las diferencias existentes en la zona común a las imágenes, para luego, con ayuda de

filtros digitales, destacar aquellas estructuras cambiantes (fenologías de cultivos, incendios construcciones), causadas por la diferencia temporal en la captura de las imágenes. Por eso es necesario una buena corrección geométrica, ya que los píxeles comunes a las imágenes (pertenecientes a la zona de solape) deben de corresponderse con la misma área geográfica (posición x e y).

El cálculo o extracción de los bordes se suele plantear como un operación de filtrado paso alto [13] [14]. En el dominio frecuencial, el problema es hallar la frecuencia de corte de dicho filtro. Debido a que los filtros espaciales son buenas aproximaciones de los frecuenciales [14], y mucho más fáciles de implementarlos, usaremos los primeros para nuestras intenciones.

El filtro espacial utilizado es el gradiente de la función de luminosidad de la imagen ( $I(x, y)$ ). El gradiente de una función bidimensional es [12]:

$$\nabla[I(x, y)] = I_G(x, y) = \frac{\partial I(x, y)}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial I(x, y)}{\partial y} \hat{y} = G_x(x, y) \hat{x} + G_y(x, y) \hat{y}$$

La aproximación discreta usada ha sido la de Sobel [15]:

$$G_x \approx [I(x+1, y-1) + 2 \cdot I(x+1, y) + I(x+1, y+1)] - [I(x-1, y-1) + 2 \cdot I(x-1, y) + I(x-1, y+1)]$$

$$G_y \approx [I(x-1, y+1) + 2 \cdot I(x, y+1) + I(x+1, y+1)] - [I(x-1, y-1) + 2 \cdot I(x, y-1) + I(x+1, y-1)]$$

No se considera la dirección del gradiente, limitándose el filtrado a manejar el módulo del mismo. Por lo tanto, la salida del filtro espacial será:

$$|I_G(x, y)| = \sqrt{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)}$$

El paso siguiente es la umbralización (qué píxeles corresponden a los bordes y cuáles no). Este límite se puede obtener usando el histograma acumulativo, en el cual, y como aproximación, el 10% de los píxeles con mayor gradiente [14] se considera como borde. Una vez obtenido este límite, ponemos a cero (a negro) los píxeles mayores a este valor, y a 255 (blanco) el resto, para un mayor realce de la imagen gradiente.

Una vez presentada la imagen sobre la que se han extraído los bordes, el usuario podrá escoger y trazar la línea de unión más conveniente, obteniendo la máscara de unión en un proceso asistido.

Otro método que se aparta de la filosofía de conocer las diferencias presentes en la zona de solape de las imágenes, y a partir de ellas realizar la transformación, es formalizar un estudio exhaustivo de los histogramas de las imágenes y obtener una ecualización adecuada para cada imagen que compone el mosaico. Es un método no muy estudiado que citamos como posible vía de estudio futuro.

## RESULTADOS

Existe un aumento gradual en la complejidad de los métodos experimentados. Cada uno de ellos se basa en los resultados aportados por los métodos precedentes. Esta es la forma elegida para presentar nuestros resultados y así disponer más claramente (desde un enfoque cuantitativo y cualitativo), de las bondades y desventajas de cada una de las distintas metodologías.

Antes de entrar en detalle, presentamos en la siguiente tabla la información referente a cada una de las imágenes que conforman el mosaico y de las zonas de solape (posición geográfica, tamaño, y estadísticas de primer orden):

		Imagen 1		Imagen 2		Imagen 3	
Col	Row	Coor X	Coor Y	Coor X	Coor Y	Coor X	Coor Y
0	0	579638	4309532	560988	4328163	572267	4309483
1749	0	623363	4309532	604713	4328163	615933	4309483
0	1749	579638	4265807	560988	4284438	572267	4265817
1749	1749	623363	4265807	604713	4284438	615933	4265817
Media		165.04		177.33		142.80	
Desviación		34.36		41.52		36.94	

Tabla 1. Información relativa a las imágenes.

Zona de control de la imagen ...	$\sigma$	$\mu$
Uno de referencia	33.0477	158.017
Dos a transformar	39.7658	172.029
Tres a transformar	35.9634	142.613

Tabla 2. Estadísticas de las zonas de solape

Como ya hemos visto, el problema fundamental del primer método estriba en las diferencias radiométricas globales (estadísticos de primer orden). El segundo método no aporta un cambio significativo en la radiometría de las imágenes, por lo que analizaremos los resultados de los dos últimos métodos.

Tomando los datos de las tablas como entrada y mediante el método de mínimos cuadrados, se obtiene los siguientes coeficientes de transformación:

	Ganancia	Offset
Imagen dos	0.842275	16.0926
Imagen tres	0.919005	26.9610

Tabla 3. Coeficientes de la transformación

Los estadísticos de las imágenes completas, para ver el resultado del ajuste radiométrico, son los siguientes:

	$\sigma$	$\mu$
Imagen de referencia	34.36	165.04
Imagen dos antes de transformar	41.52	177.33
Imagen dos transformada	34.48	163.02
Imagen tres antes de transformar	36.94	142.80
Imagen tres transformada	33.94	159.56

Tabla 4. Nuevos estadísticos

En las Fig.1, 2 se muestra, los mosaicos de las tres imágenes, antes y después de la transformación.

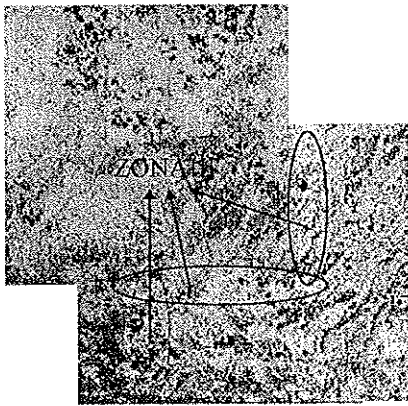


FIG.1)-Mosaico conjunto de las tres imágenes, sin realizar ningún tipo de transformación.

Se ve claramente en las zonas marcadas como 1, las diferencias radiométricas entre las imágenes.

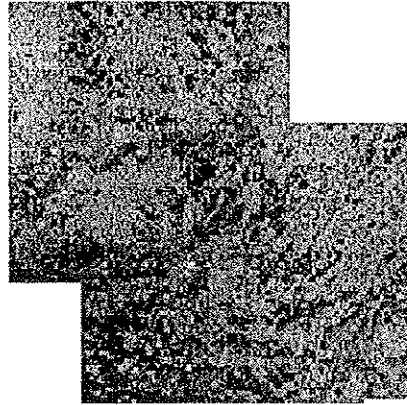


FIG.2)-Mosaico anterior, después de realizar la transformación.

Se observa que los resultados de esta nueva estrategia son más acordes con los objetivos marcados en este estudio. La imagen resultante es un mosaico más homogéneo, en el que se ha producido un ajuste radiométrico importante entre las distintas imágenes que lo componen.

Los resultados siguen siendo parciales, debido a la unión de las imágenes mediante líneas rectas. Este tipo de unión, se agrava por el hecho de la existencia de zonas de cultivo en distinto estado fenológico (podría haber sido otra causa, como un incendio, una construcción humana, etc.), marcados en la Fig.3 (es un zoom de la zona de unión) con círculos negros (zona 1), que delata el mosaico, restándole realismo al mismo:

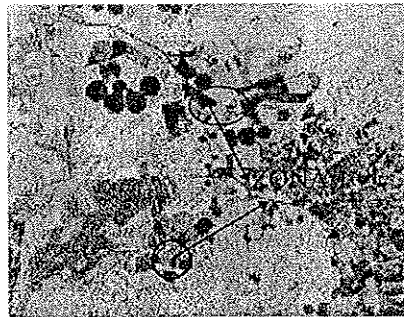


FIG.3)-Zoom de la zona de unión.

Esta deficiencia encontrada en la imagen, nos hizo considerar el método de segmentación, como el más apropiado e intuitivo, para solventar este problema. La siguiente imagen (Fig.4) es muestra de ello: en ella se ve el mosaico final, realizado mediante la aplicación conjunta del método

relativo (usando los coeficientes de transformación hallados anteriormente) y el de segmentación

## REFERENCIAS

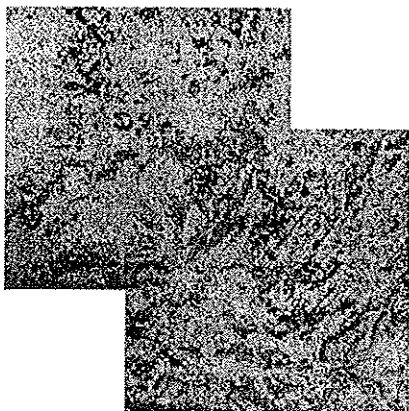


FIG.4)-Imagen mosaico final.

## CONCLUSIÓN

A partir de los resultados estadísticos y visuales, y desde el punto de vista de la calidad del producto final, se desprende que el mejor método para la realización de mosaicos es el que hemos denominado de *segmentación*. Este método reúne además importantes ventajas para el usuario: ahorro de tiempo en su realización, facilidad y fiabilidad en la traza de la línea de unión.

Las correcciones desarrolladas (atmosféricas, del sensor, etc..) no aportan una ayuda significativa a la hora de facilitar la generación de mosaicos. Estas correcciones están encaminadas, mas bien, a disminuir el ruido presente en una imagen sobre la que se quiere realizar cualquier estudio científico, como puede ser la clasificación de imágenes.

Para alcanzar el aspecto visual deseado es necesario *considerar las imágenes como un conjunto de objetos interrelacionados, y no como entidades independientes.*

Esta metodología es susceptible de mejora investigando la incorporación o automatización del proceso de segmentación y la introducción de algoritmos de ecuilización y generación de falso color. Debido a los buenos resultados obtenidos, actualmente se está finalizando el desarrollo de una herramienta software que genera el mosaico en base a nuestra metodología, a la cual se ha incorporado la automatización de la obtención de la línea de unión.

- [1] J. BOSQUE "Sistemas de Información Geográfica". RIALP S.A, 1992.
- [2] P.S. CHAVEZ, S. SIDES "Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic" Photogrammetric engineering & remote sensing, vol. 57, nº 3, 295-303.
- [3] E. CHUVIECO "Fundamentos de Teledetección Espacial". RIALP S.A, 1990.
- [4] D. COLBY "Topographic normalization in rugged terrain" Photogrammetric engineering & remote sensing 57, nº 5, 1.991, pp 531-537.
- [5] C.M. CUADRAS 1.991 "Métodos de Análisis Multivariante". PPU, 1991, Barcelona.
- [6] P.J. CURRAN "Principles of remote sensing" Longman Scientific & Technical, 1985.
- [7] S. EKSTRAND "Landsat TM-Based Forest Damage Assessment: Correction for Topographic Effects" Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 62: 151-161,1996.
- [8] A.M. FELICÍSIMO, P. GARCÍA-MANTECA Y J. MARQUINEZ "Efectos de la corrección del efecto topográfico en las imágenes Landsat sobre la clasificación de los usos del suelo" IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección. Sevilla, 1992.
- [9] A.M. FELICÍSIMO, P. GARCÍA-MANTECA "Corrección del efecto topográfico en las imágenes Landsat mediante el uso de un modelo digital de elevaciones" III Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección. 1992, Madrid, pp. 209-216.
- [10] D.L. HELDER "A Technique for the Reduction of Banding in Landsat Thematic Mapper Images" Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 58, nº 10, 1992, pp. 1425-1431.
- [11] M.E. HODGSON "What cell size does the computed Slope/Aspect angle represent?" Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 6, nº 5, 1.995, pp. 513-518.
- [12] M. IQBAL "An introduction to solar radiation" Academic Press. Toronto, 1983.
- [13] A.K. JAIN "Fundamentals of Digital Image Processing" Prentice-Hall, 1.989.
- [14] R.J. JENSEN "Introductory Digital Image Processing" Prentice-Hall, 1.986.
- [15] D. MARAVALL "Reconocimiento de formas y visión artificial" Ra-ma, Madrid, 1.993.
- [16] P.M. MATHER "Computer Processing on Remotely Sensed Images". John Wiley. Chichester, 1.987.
- [17] P. MEYER, D.I. ITTEN, T. KELLENBERGER, S. SANDMEIER Y R. SANDMEIER "Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in an alpine environment"

Photogrammetric Engineerin & Remote Sensing  
48:17-28, 1.993.

[18] V. PALÁ Y X. PONS "Incorporation of Relief  
in Polonomial-Based Geometric Corrections"  
Photogrammetric Engineerin & Remote Sensing, 61,  
n° 7, pp, 935-944, 1.995.

[19] C. PINILLA "Elementos de Teledetección" Ra-  
Ma, Madrid, 1.995.

[20] J. RICHARD Y L. MORRIS "An Introduction  
to mathematical statistics and its applications"  
Prentice-Hall, New Jersey, 1.986.

[21] C. SUBHAIS "Automated assembling of  
images: image montage preparation" Pattern  
Recognition, vol 28, num 3, pp. 431-445. 1.995.

[22] G. VILLA Y M.A. FERNÁNDEZ "Ajuste  
radiométrico conjunto de varias imágenes de satélite  
para la realización de mosaicos de ortoimágenes"  
Instituto Geográfico Nacional. 1.990.

[23] A. ZOBRIST Y R. MCLEDOD "Technology  
for large digital mosaics of Landsat data"  
Photogrammetric engineering & remote sensing.  
vol.49, num.9, pp.1325-1335, 1.983.