

# FUSIÓN IHS PONDERADA MEDIANTE DIMENSIÓN FRACTAL

Consuelo Gonzalo-Martín<sup>1</sup>, Mario Lillo-Saavedra<sup>2</sup>, Francisco J. Merino<sup>1</sup> y Francisco Zambrano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos, Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid, Campus de Montegancedo, Boadilla del Monte 28660-Madrid, España.

[consuelo.gonzalo@upm.es](mailto:consuelo.gonzalo@upm.es)

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento de Mecanización y Energía Avda. Vicente Mendez 595, Casilla 537, Chillán, Chile

[malillo@udec.cl](mailto:malillo@udec.cl)

Palabras Claves: Fusión de Imágenes, Dimensión Fractal, Transformada IHS.

## RESUMEN

En este trabajo, se ha utilizado la capacidad de la dimensión fractal para distinguir entre zonas con diferentes características texturales. En base a ello, se propone utilizar mapas de dimensión fractal local, de las imágenes fuentes a fusionar, para mejorar los resultados de fusión del algoritmo IHS generalizado (GIHS). Los mapas de dimensión fractal local se han obtenido mediante un proceso de ventaneo de la imagen y el algoritmo box-counting. A partir de estos mapas, se han obtenido factores de ponderación de la información de detalle a integrar en la imagen multiespectral, para cada píxel y cada banda. En este trabajo se muestran y discuten los resultados obtenidos para una escena FORMOSAT-2. Con objeto de evaluar las ventajas del método propuesto frente al método GIHS, se han llevado a cabo medidas de la calidad local de las imágenes fusionadas.

## ABSTRACT

It is well known, the ability of the fractal dimension to distinguish between zones with different texturales characteristics. Thus, in this work it is proposed to improve the fusion results provided by the algorithm based on IHS generalized (GIHS), by using the local fractal dimension maps of the source images, to be fused. The local fractal dimension maps have been obtained by means of a sliding-windowing process of the image and the box-counting algorithm. From these maps, weighting factors of the detail information to integrate in the multispectral image have been obtained, for each píxel and each band. The results obtained for a FORMOSAT-2 scene are presented and discussed in this work. In order to evaluate the advantages of the method proposed against the GIHS method, local quality measures of the fused images have been carried out.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El objetivo de las técnicas de fusión de imágenes registradas por sensores ópticos (multiespectrales y pancromáticos) es obtener imágenes con una calidad espacial lo más próxima posible a la imagen pancromática, respetando la calidad espectral de la imagen multiespectral. Para ello, un elevado número de algoritmos, proponen extraer mediante diferentes estrategias información de detalle de la imagen pancromática y combinarla de una forma coherente con la información de la imagen multiespectral (Lillo & Gonzalo 2006). Algunas son muy sencillas desde un punto de vista conceptual, como las metodologías basadas en el Análisis de Componentes Principales (Chavez et al, 1991) o la transformada IHS (intensidad, brillo y saturación) (Haydn et al. 1982). Esta última cuenta con una amplia aceptación en las áreas de procesamiento de imágenes debido a su simplicidad conceptual. De hecho está incluida en diferentes paquetes de software comercial y se han desarrollado diferentes versiones mejoradas (Tu et al 2004). Sin embargo, y como se demuestra en numerosos trabajos (Ranchin et al. 1993, Yocky 1995, Garguet-Dupport et al. 1996, Tu et al. 2001 y Choi 2006), estas metodologías proporciona imágenes fusionadas cuyas características espectrales difieren notablemente de las de las imágenes multiespectrales originales, impidiendo su uso en diferentes tareas, habituales en el

área de teledetección, que requieren de una correcta respuesta espectral de las cubiertas como son: la clasificación de imágenes o la detección de cambios. Entre otros factores, esta limitación se debe al hecho de que la información procedente de las imágenes fuente que se integra es independiente de la banda espectral que se fusione y lo que es más importante, del tipo de cubierta al que correspondan cada píxel. Por otro lado, es sabido que para ciertas aplicaciones de teledetección, como es la clasificación de imágenes multiespectrales píxel a píxel, una alta resolución espacial aumenta la variabilidad de las imágenes disminuyendo la precisión de los resultados de clasificación (Grazzini et al. 2004). En este sentido, se hace necesario introducir algún mecanismo en las técnicas de fusión que diferencien entre áreas de más o menos detalle.

Dada la capacidad demostrada del concepto de dimensión fractal para distinguir entre zonas de diferente detalle dentro de una imagen, en este trabajo se propone utilizar mapas de dimensión fractal local de las imágenes fuentes a fusionar, obtenidos mediante un proceso de ventaneo de la imagen y el algoritmo box-counting, para mejorar los resultados de fusión de una metodología basada en la transformada IHS.

## 2.- MÉTODOLOGÍAS DE FUSIÓN BASADAS EN LA TRANSFORMADA IHS

La transformada IHS permite convertir, con gran eficacia, una composición color estándar RGB, a otra en la que las componentes sean la Intensidad (I) el Brillo (H) y la Saturación (S). En este último espacio de representación, las características espaciales de la imagen quedan definidas por la intensidad y las características espectrales por el brillo y la saturación. Debido a que I es la banda que contiene la mayor varianza, y por ende el mayor contenido de información espacial, la metodología estándar de fusión basada en esta transformada consiste en sustituir la componente intensidad por la imagen pancromática. La inversión de la transformada IHS proporciona una imagen fusionada de tres bandas y resolución espacial similar a la de la imagen pancromática. Esta técnica se ha convertido en un procedimiento estándar de fusión (Chavez et al., 1991; Zhang, 1999). Si bien esta metodología es simple desde una perspectiva conceptual, presenta tres importantes limitaciones: es relativamente costosa desde un punto de vista computacional, debido al gran número de productos que se deben realizar, solo se puede aplicar a tres bandas y las características espectrales de las imágenes fusionadas difieren notablemente de las de la imagen multiespectral original. Con objeto de paliar la primera limitación, Tu et al. (2001) propusieron una nueva formulación para la fusión de imágenes píxel a píxel, denominada IHS generalizada (GIHS), en la que únicamente se realizan sumas. Para el caso particular de sensores ópticos con bandas R, G, B y N, este método de fusión se puede expresar de forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} FUS_R \\ FUS_G \\ FUS_B \\ FUS_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} MUL_R + \delta' \\ MUL_G + \delta' \\ MUL_B + \delta' \\ MUL_N + \delta' \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde  $FUS_i$  representa la banda  $i$ -ésima de la imagen fusionada;  $MUL_i$ , la correspondiente banda de la imagen multiespectral original. Y  $\delta'$  e  $I$ , se definen como:

$$\delta' = PAN - I \quad (2)$$

$$I = \left( \frac{MUL_R + MUL_G + MUL_B + MUL_N}{4} \right) \quad (3)$$

A parte del reducido coste computacional que implica este método, otras ventajas que presenta esta forma de plantear el problema es que la metodología puede ser aplicada a  $n$  bandas y en un orden arbitrario. Además, las imágenes fusionadas presentan una alta calidad espacial, aunque la distorsión de las características espectrales sigue siendo alta comparada con otros métodos de fusión, como los basados en transformadas multidirección y/o multirresolución (Lillo & Gonzalo 2007).

Con objeto de mejorar las características espectrales de las imágenes fusionadas con el método GIHS, se han propuesto algunas aproximaciones como las de Tu (2005) y Choi (2006). Ambas

aproximaciones (ecuaciones (4) y (5)) proponen ponderar la cantidad de información espacial introduciendo parámetros externos a la propia transformada y que deben ser estimados para cada imagen.

$$\begin{bmatrix} FUS_R \\ FUS_G \\ FUS_B \\ FUS_N \end{bmatrix} = \frac{PAN}{1 + k \cdot (PAN - 1)} \begin{bmatrix} MUL_R + k \cdot (PAN - 1) \\ MUL_G + k \cdot (PAN - 1) \\ MUL_B + k \cdot (PAN - 1) \\ MUL_N + k \cdot (PAN - 1) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} FUS_R \\ FUS_G \\ FUS_B \\ FUS_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} PAN - \frac{(PAN - 1)}{t} + (MUL_R - 1) \\ PAN - \frac{(PAN - 1)}{t} + (MUL_G - 1) \\ PAN - \frac{(PAN - 1)}{t} + (MUL_B - 1) \\ PAN - \frac{(PAN - 1)}{t} + (MUL_N - 1) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Se debe hacer notar que ambos casos la ponderación de la información espacial es única para todas las bandas y todos los tipos de cubierta.

### **3.- MEJORA DE LA CALIDAD ESPECTRAL DE LAS IMÁGENES FUSIONADAS MEDIANTE EL MÉTODO GIHS, USANDO MAPAS DE DIMENSIÓN FRACTAL LOCAL**

Las superficies naturales suelen presentar características complejas, independiente de la escala a la que se analicen, en el sentido de que no es habitual identificar en ellas formas Euclideas. Esta es la razón por lo que la geometría Euclidea tradicional no es adecuada para su análisis. Sin embargo, la habilidad de la geometría fractal para describir formas irregulares y objetos complejos presentes en las superficies naturales, hace que esta geometría sea especialmente adecuada para el análisis de dichas superficies.

La mayoría de las aplicaciones de las técnicas fractales en análisis de imágenes se basan en el cálculo de la dimensión fractal. Este indicador proporciona una medida de la irregularidad de los objetos complejos, así como de la homogeneidad de superficies uniformes. De tal forma que las superficies más rugosas están caracterizadas por una dimensión fractal superior a la de las superficies más homogéneas. En este sentido, la dimensión fractal se puede relacionar de una forma intuitiva con la idea de rugosidad (Pentland 1984), por lo que se puede utilizar como indicador para discriminar entre superficies con diferentes características texturales. Ahora bien, dado que en una imagen de satélite, suelen convivir diferentes tipos de cubiertas, en este trabajo se propone utilizar medidas locales de la dimensión fractal para discriminar entre los diferentes tipos de cubierta presentes en una imagen. Para ello, se han generado mapas de dimensión fractal local, mediante un proceso de ventaneo de la imagen utilizando el algoritmo box-counting. Esta información se ha usado para mejorar la calidad de las imágenes fusionadas mediante el método de fusión GIHS (ecuaciones (1), (2) y (3)). Para ello se propone en este trabajo una nueva versión de GIHS, pudiéndose formalizar de acuerdo a la ecuación (6):

$$\begin{bmatrix} FUS_R \\ FUS_G \\ FUS_B \\ FUS_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} MUL_R + \gamma_R \cdot \delta' \\ MUL_G + \gamma_G \cdot \delta' \\ MUL_B + \gamma_B \cdot \delta' \\ MUL_N + \gamma_N \cdot \delta' \end{bmatrix} \quad (6)$$

Donde  $\gamma$  es un mapa de coeficientes de ponderación de la cantidad de detalle que se debe incluir en cada uno de los píxeles de la banda  $i$ -ésima de la imagen multiespectral. Este coeficiente se ha estimado a partir de las dimensiones fractales locales de las dos imágenes fuente que participan en el proceso de fusión: la imagen multiespectral y la imagen pancromática, pudiéndose expresar de forma general como:

$$\gamma_i(x, y) = f(\text{dim\_frac}(\text{MULTI}_i(x, y)), \text{dim\_frac}(\text{PAN}(x, y))) \quad (7)$$

Donde  $f(\cdot)$ , en principio, puede ser cualquier operación algebraica entre las dimensiones fractales de las imágenes fuente. Se han llevado a cabo experimentos con diferentes operaciones y los mejores resultados se han obtenido para el promedio normalizado de dichas dimensiones fractales.

#### 4.- DATOS Y PRE-PROCESADO

Para mostrar las prestaciones del nuevo método de fusión propuesto en este trabajo, se ha utilizado una escena de una imagen registrada el día 4 de enero del 2008, por los sensores multiespectral y pancromático a bordo del satélite FORMOSAT-2. Estos sensores proporcionan imágenes con una resolución espacial de 8m y 2m, respectivamente. Por lo que es preciso remuestrear la imagen multiespectral al tamaño de la pancromática. Este proceso se ha llevado a cabo mediante el método de convolución bicúbica, proceso que se ha realizado simultáneamente a la co-georeferenciación de la imagen multiespectral respecto a la pancromática, con objeto de asegurar una superposición perfecta entre las dos imágenes a fusionar.

La escena objeto de estudio, está ubicada en el Campus de la Universidad de Concepción (Chile), siendo las coordenadas geográficas del centro de la imagen: 36°51'19" S y 73°06'28"O. El tamaño de la imagen multiespectral original era de 256x256 píxeles y el de la pancromática de 1024x1024. En la Figura 1 a) se muestra una composición color de la escena multiespectral original y en la Figura 1 b) la correspondiente escena pancromática.

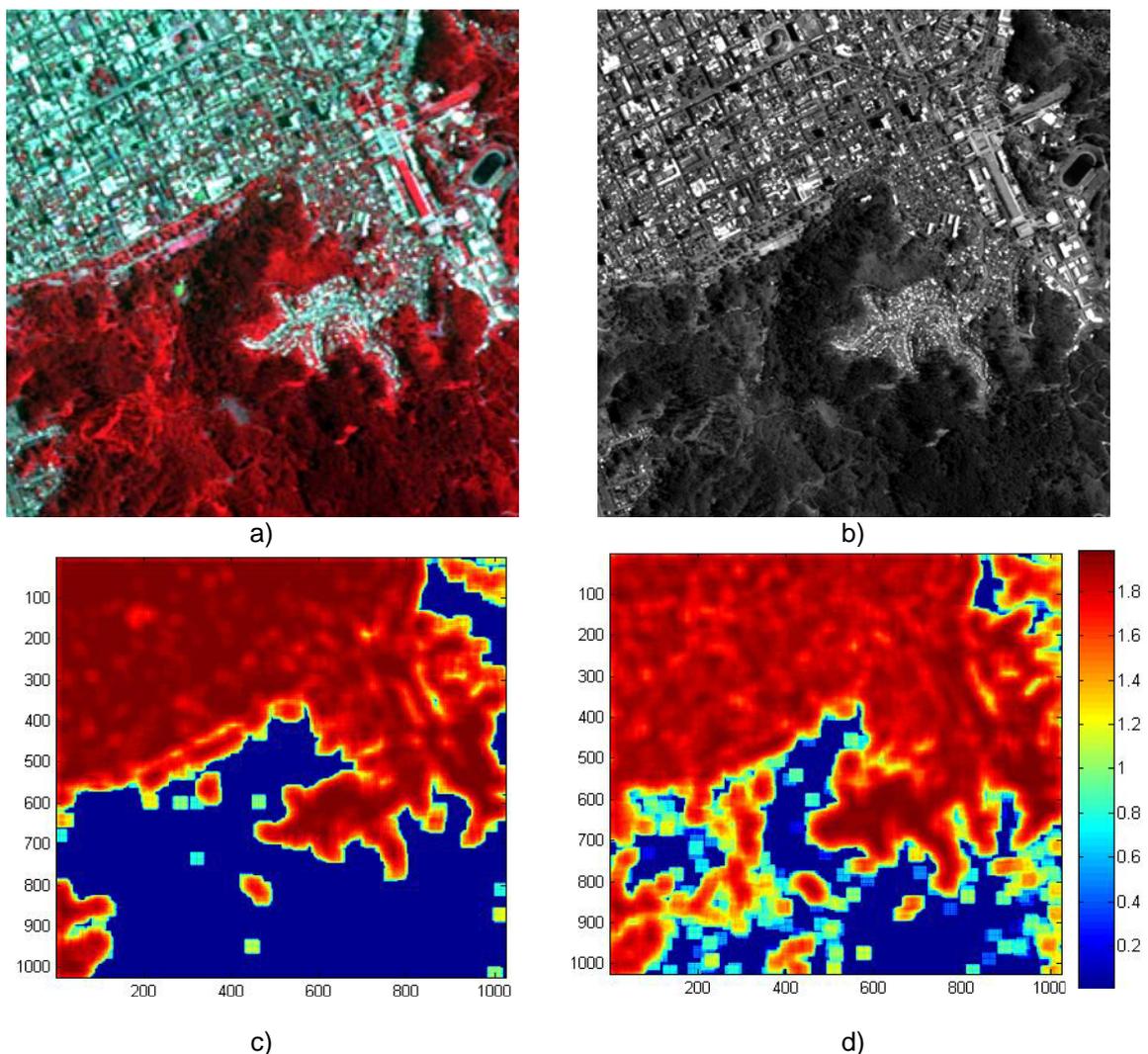


Figura 1: a) Composición color de la imagen multiespectral original. b) Imagen PAN original. c) y d) Dimensiones fractales locales de la banda 3 de la imagen multiespectral original y de la imagen PAN, respectivamente

## 5.- RESULTADOS

Con objeto de calcular el mapa de coeficientes de ponderación de la cantidad de detalle que se debe incluir en cada uno de los píxeles de la banda  $i$ -ésima de la imagen multispectral ( $\gamma_i$ ), se ha calculado previamente las dimensiones fractales de todas las bandas de la imagen multispectral (azul, verde, rojo y semi-infra rojo), así como de la imagen pancromática. Como se había comentado anteriormente, el cálculo de la dimensión fractal local implica un proceso de ventaneo, obteniéndose diferentes resultados para diferentes tamaños de ventana. En la Figura 1 c) y d) se muestra las representaciones codificada en color de las dimensiones fractales de la banda 3 de la imagen multispectral y de la pancromática, obtenidas para un tamaño de ventana de 31x31. Se puede observar, como dependiendo de la resolución de la imagen y por lo tanto de su nivel de detalle, los valores de dimensión fractal son diferentes. Esto es especialmente notable, en el caso considerado, en la parte inferior de la imagen, correspondiente a una zona boscosa. Se puede observar como en las áreas de menor detalle de esta zona, la dimensión fractal de la imagen multispectral es nula, mientras que en la imagen pancromática toma valores no nulos. Este tipo de información es la que permite seleccionar de una forma local, la cantidad de detalle procedente de la imagen pancromática que se debe incorporar a la imagen multispectral.

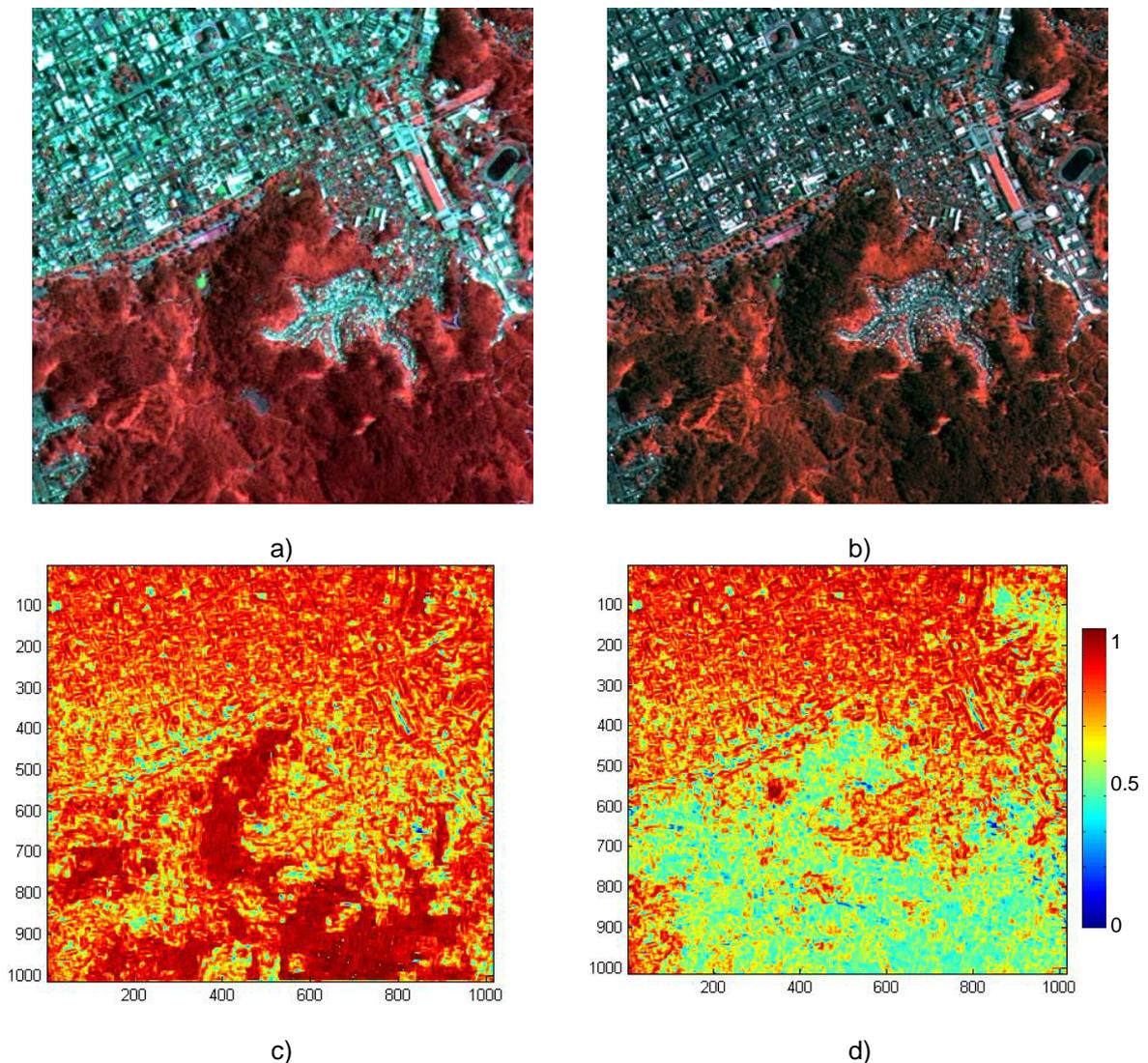


Figura 2: a) Composición color de la imagen fusionada con el método propuesto. b) Composición color de la imagen fusionada con el método GIHS. c) y d) Mapas de calidad locales de las imágenes fusionadas.

Aplicando el método de fusión descrito anteriormente (ecuación 6), una vez calculado el mapa de  $\gamma_i$  a partir de las dimensiones fractales de cada una de las bandas de la imagen multispectral y de la imagen pancromática, se ha obtenido la imagen fusionada, mostrada en la figura 3 a). A efectos de comparación, se ha incluido en esta figura la imagen fusionada con el método GIHS estándar

(figura 3 b)). Aunque desde un punto de vista espacial, ambas imágenes presentan un aspecto muy similar, sin embargo se debe notar la diferencia en los colores o en otras palabras en las características espectrales de las imágenes fusionadas mediante los dos métodos, comparando ambas imágenes con la composición color de la imagen multiespectral original, se observa que la imagen fusionada mediante la ponderación local, conserva mejor las características espectrales que la imagen fusionada por el método GHIS.

Aunque habitualmente en la literatura, la calidad de las imágenes fusionadas, se evalúa en términos de índices de calidad globales para toda la imagen (Mallat 1999, Lillo&Gonzalo 2006), dadas las características del método de fusión propuesto, parece mas adecuado medir la calidad de una forma local, en este sentido se han evaluado mapas locales del índice Q (Wang 2002). Las figuras 2 c) y d) muestran estos mapas para las imágenes fusionadas mostradas en las figuras 2 a) y b), respectivamente. Los valores de Q más próximos a 1 indican mayor calidad de la imagen fusionada. En este sentido, los resultados mostrados indican una mejor calidad de la imagen fusionada por el método propuesto en este trabajo, especialmente en la zona boscosa comentada anteriormente. Ello es debido a que mientras que el método GHIS, al igual que la mayoría de los métodos actualmente disponibles, no diferencian entre tipos de cubiertas para inyectar más o menos información de detalle en la imagen multiespectral, el método propuesto es capaz de discernir la mayor o menor rugosidad de una determinada cubierta e inyectar el detalle en función de esta característica.

## **6.-CONCLUSIONES**

En este trabajo, se ha propuesto una metodología que mejora sustancialmente, las características de las imágenes fusionadas mediante el método GHIS. Para ello, se ha llevado a cabo la ponderación local, píxel a píxel y para cada banda, de la información de detalle, procedente de la imagen pancromática e inyectada en la multiespectral. Los mapas de ponderación se han obtenido a partir de las dimensiones fractales de cada banda y de la imagen pancromática. Ello ha permitido discernir de una forma objetiva, las zonas homogéneas de la imagen, donde no era necesario un incremento de la información espacial de aquellas otras zonas, donde si era necesario.

Las prestaciones del método propuesto se deben a que mientras la mayoría de los métodos de fusión integran la información espacial de forma homogénea para toda la imagen, sin distinguir las características espaciales de las diferentes zonas, el uso de la dimensión fractal local para ponderar la información de detalle, procedente de la imagen pancromática e inyectada en la multiespectral, ha permitido incrementar el contenido espacial de la imagen multiespectral en las zonas de alta heterogeneidad y evita este incremento en las zonas donde no es requerido, limitando de esta forma la explosión de información obtenida imágenes fusionadas mediante otros métodos tradicionales. Los resultados obtenidos tanto visuales (composición color) como numéricos (mapas locales del índice Q) dejan constancia de las bondades del método propuesto.

## **7.- AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido cofinanciado por el Ministerio de Educación de Chile (FONDECYT 11060056), la Universidad Politécnica de Madrid (AL08-P(I+D)-19) y el Ministerio de Educación y Ciencia de España (TEC2007-60607/TCM).

## **8.- BIBLIOGRAFÍA**

- Chavez, P.S., Stuart, J., Sides, C. and Anderson, J.A., 1991. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 57(3), pp. 259-303.
- Choi, M. 2006. A new Intensity-Hue-Saturation fusion approach to image fusion with a tradeoff parameter. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44, 1672-1682.
- Haydn, R., Dalke, G.W., Henkel, J. and Bare, J.E., 1982. Applications of the HIS color transform to the processing of multisensor data and image enhancement. *Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing of Arid and Semi-arid Lands*, El Cairo, pp. 595-616.

- Garguet-Dupport, B., Girel, J., Chasseny, J.M. and Pautou, G., 1996. The use of multiresolution analysis and wavelet transform for merging SPOT panchromatic and multispectral image data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 62(9), pp. 1057-1066.
- Grazzini, J., Turiel, A., Yahia, H. y Herlin, I., 2004, Edge-preserving smoothing of high-resolution images with a partial multifractal reconstruction scheme, *Proceedings ISPRS*, vol. XXXV, B3, pp. 1125-1129, Estambul.
- Lillo-Saavedra, M. & Gonzalo, C. 2006. Spectral or spatial quality for fused satellite imagery? A trade-off solution using wavelet à trous algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 1453-1464.
- Lillo-Saavedra y M., Gonzalo, 2007, Multispectral Images Fusion by a Multidirectional and Multiresolution Image Transforms. *International Journal of Remote Sensing*, 28(18), pp. 4065-4079.
- Mallat, S., 1999, *A Wavelet Tour of Signal Processing*, 2nd ed., Academic Press, Elsevier.
- Pentland, A. 1984. Fractal Based Description of Natural Scenes. *IEEE Trans. Pattern Analysis Mach. Intell. PAMI-6* (6), vol. 66: 1-674.
- Ranchin, T. and Wald, L., 1993. The wavelet transform for the analysis of remotely sensed images, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 14(3), pp. 615-619.
- Tu, T.-M., Su, S.-C., Shyu, H.-Ch., Huang, P.S., 2001, A new look at IHS-like image fusion methods, *Information Fusion*, 2 , 177-186.
- Tu, T.-M-, Lee, Chang, Ch. P, y Y-M, Huang, 2005, Adjustable intensity-hue-saturation and Brovey transform fusion technique for IKONOS/QuickBird imagery, *Optical Engineering*, 44(11), pp. 116201-1-10.
- Yocky, D.A., 1995. Image merging and fusion by means of the discrete two-dimensional wavelet transform, *Journal of the Optical Society of America*, vol. 12(9), pp. 1834-1841.
- Wang, Z. Y Bovik, A. C., 2002, A universal image quality index, *IEEE Signal Processing Letters*, 9 (3), pp.81-84.