

# Incidencia del tamaño de la ventana en la calidad de las imágenes fusionadas mediante mapas de dimensión fractal

## Sensitivity of the window size on the quality of fused images through maps of fractal dimension

C. Gonzalo<sup>1</sup> y M. Lillo-Saavedra<sup>2</sup>  
consuelo.gonzalo@upm.es

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

<sup>2</sup> *Departamento de Mecanización y Energía, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, CHILE*

*Recibido el 16 de febrero de 2010, aceptado el 10 de mayo de 2010*

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo es investigar la influencia del tamaño de ventana ( $w_{size}$ ) utilizado en un nuevo paradigma de fusión que pretende minimizar los efectos de alta variabilidad espacial y baja separabilidad espectral que caracterizan a las imágenes de alta resolución espacial obtenidas mediante algoritmos de fusión. Este paradigma de fusión se basa en mapas locales de dimensión fractal de las imágenes a fusionar. La obtención de estos mapas se ha llevado a cabo mediante un proceso de ventaneado y la utilización de un algoritmo particular para el cálculo de la dimensión fractal (box-counting). Este algoritmo implica la definición de un tamaño de ventana,  $w_{size}$ , el cual tiene una fuerte influencia en la estimación de la dimensión fractal local y consecuentemente en la calidad de las imágenes fusionadas. El estudio se ha llevado a cabo para un algoritmo de fusión basado en la Transformada Discreta Wavelet calculada mediante el algoritmo à trous.

**PALABRAS CLAVE:** fusión de imágenes, dimensión fractal, transformada wavelet, box-counting, algoritmo à trous

### ABSTRACT

The aim of this work is to investigate the influence of size window ( $w_{size}$ ) used in a new images fusion paradigm, which has been proposed for minimizing the high spatial variability and the low spectral separability that characterized high spatial resolutions images obtained by fusion algorithms. This paradigm is based on local fractal dimension maps of images to be fused. A windowing process and a particular algorithm to estimate the fractal dimensions (box-counting) have been used to calculate these maps. This algorithm implies the definition of the window size,  $w_{size}$ . This size has a strong influence in the estimation of the fractal dimension and in the fused images quality. The study has been carried out for a fusion algorithm based in the Discrete Wavelet Transform calculated through the à trous algorithm.

**KEYWORDS:** images fusion, fractal dimensions, wavelet transform, box-counting, à trous algorithm

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de las técnicas de fusión de imágenes capturadas por sensores ópticos, es obtener imágenes con una calidad espacial lo más próxima posible a la imagen pancromática, minimizando la distorsión, desde el punto de vista radiométrico, de la imagen multiespectral. Por otra parte, las imágenes de muy alta resolución espacial se caracterizan por una alta variabilidad espacial y una baja separabilidad espectral (Lillo *et al.*, 2009), lo que plantea ciertas dificultades en tareas tales como la clasificación. Huang y Zhang (2008) han planteado un esquema de fusión a partir de la extracción de características en diferentes escalas, mediante la Transformada Wavelet, que abordan este problema, mejorando los resultados de clasificación. Lillo-Saavedra y Gonzalo (2009) han propuesto un nuevo paradigma aplicable a diferentes algoritmos de fusión, cuyo objetivo es minimizar los efectos antes mencionados. Para ello, se determina, a partir de mapas locales de la dimensión fractal de las imágenes fuente, la cantidad de información de detalle procedente de la imagen pancromática que se debe incorporar a la información de baja frecuencia procedente de la imagen multiespectral, para cada píxel y para cada banda, dependiendo del tipo de cubierta bajo análisis. Los mapas locales de dimensión fractal se han obtenido, mediante un proceso de ventaneado de las imágenes fuente y el algoritmo *box-counting* (Falconer, 1990). Este algoritmo, implica la definición de un tamaño de ventana,  $w_{size}$ , el cual tiene una fuerte influencia en la estimación de la dimensión fractal local y consecuentemente en la calidad de las imágenes fusionadas. El objetivo de este trabajo es investigar la influencia de  $w_{size}$  en las prestaciones de un algoritmo de fusión basado en la Transformada Discreta Wavelet calculada mediante el algoritmo *à trous* (Nuñez *et al.*, 1999), al que se le ha aplicado el paradigma propuesto.

## METODOLOGÍA DE FUSIÓN PONDERADA MEDIANTE MAPAS DE DIMENSIÓN FRACTAL

A partir del algoritmo de fusión, basado en la Transformada Discreta Wavelet (TDW) calculada mediante el algoritmo *à trous* (TWA), Lillo-Saavedra y Gonzalo (2007) propusieron una versión ponderada del mismo que se puede expresar como:

$$I_{Fus}^i(x, y) = I_{MUL_j}^i(x, y) + \alpha^i \sum_{k=1}^W C_{PAN_k}^i(x, y) \quad (1)$$

Donde  $I_{mul_j}^i$  representa la imagen multiespectral y  $C_{PAN_k}^i$  los coeficientes de la imagen pancromática. Los índices  $i$  y  $j$  representan el número de bandas y el nivel de degradación de la imagen multiespectral, respectivamente; y  $W$  el número de planos wavelet a integrar desde la imagen pancromática a la imagen multiespectral. El parámetro de ponderación,  $\alpha^i$ , controla el compromiso entre la calidad espacial y espectral de la imagen fusionada.

Esta estrategia presenta un avance respecto a otros algoritmos de fusión convencionales, ya que considera las características particulares de cada imagen, tanto desde el punto de vista espectral, como espacial. Sin embargo, los factores de ponderación determinados para cada una de las bandas son aplicados a la totalidad de la misma, sin tener capacidad para diferenciar entre los distintos tipos de cubierta presentes en la imagen. El paradigma de fusión ya mencionado, propone superar esta limitación, mediante la determinación de mapas de ponderación que determinen valores diferentes para cada píxel y cada banda. Estos valores particulares son obtenidos a partir de la información aportada por los mapas de dimensión fractal tanto de la imagen pancromática como de cada banda de la imagen multiespectral. En este estudio, se han obtenido los mapas de dimensión fractal, mediante la siguiente expresión:

$$\alpha^i(x, y) = \frac{\langle \dim\_frac(I_{MUL}^i(x, y)) \rangle + \langle \dim\_frac(I_{PAN}(x, y)) \rangle}{2} \quad (2)$$

Donde  $\langle \bullet \rangle$  corresponde a la indexación de los valores de las dimensiones fractales de las imágenes fuente.

A partir de las ecuaciones 1 y 2, se puede deducir que la metodología propuesta permite integrar una mayor cantidad de información espacial en la medida que la dimensión fractal de la cubierta sea alta (cubierta rugosa) en al menos alguna de las imágenes fuente, sin embargo, si la cubierta presenta una dimensión fractal baja en ambas imágenes, la integración de información espacial será baja. Aún cuando esta metodología permite determinar un valor de ponderación diferente para cada píxel, este

valor depende también de los niveles de grises de su vecindario, cuyo tamaño es preciso definir, teniendo una influencia notable en los resultados de fusión, como se mostrará en la siguiente sección.

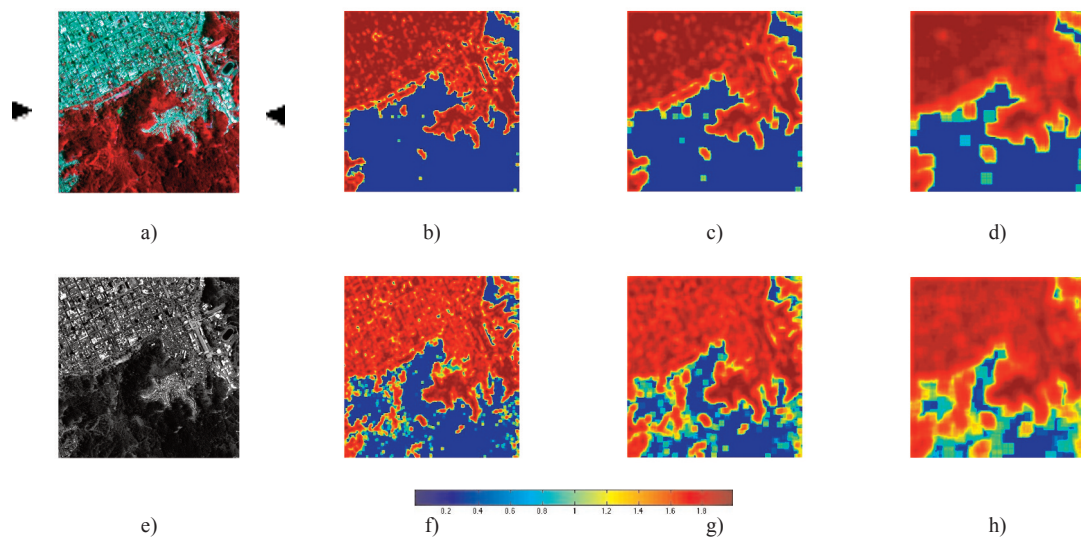
## RESULTADOS

Para este trabajo se ha seleccionado una escena de 1024x1024 píxeles de una imagen FORMOSAT, registrada el 28 de abril de 2008. La zona corresponde a un área del Campus de la Universidad de Concepción (Chile) en esta escena aparecen dos tipos de cubiertas fundamentalmente, zona urbana y zona boscosa. En la figura 1 se ha incluido una composición RGB de la imagen multiespectral y la imagen pancromática, así como los mapas de dimensión fractal obtenidos para  $w_{size}=15, 31$  y  $127$ . En el caso de la imagen multiespectral, estos mapas corresponden a la banda 3.

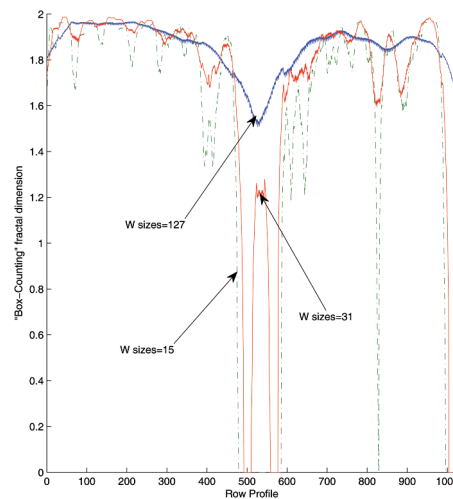
Con objeto de mostrar gráficamente la influencia de  $w_{size}$  en los mapas locales de dimensión fractal y por tanto en el proceso de fusión, se han incluido en la figura 2, los perfiles correspondientes a la fila 400 de los mapas mostrados en la figura 1 d), e) y f). En la figura 1a se ha marcado la correspondiente línea. En la figura 2, se puede observar que para valores pe-

queños de  $w_{size}$  ( $<15$ ) los mapas de dimensión fractal no permiten detectar adecuadamente variaciones en los patrones texturales, ya que considera completamente homogéneas zonas muy extensas. Desde el punto de vista del proceso de fusión, esto se traduce en la integración de una gran cantidad de información procedente de los coeficientes de la imagen pancromática en las zonas de detalle y una integración casi nula en las zonas homogéneas. En este sentido, se podría considerar prácticamente, como una ponderación binaria, que proporcionaría imágenes fusionadas muy semejantes a las proporcionadas por el método de fusión TWA estándar en las zonas de detalle e iguales a la imagen multiespectral en las zonas de muy baja dimensión fractal.

Para  $w_{size}=31$ , los efectos descritos disminuyen, permitiendo que la dimensión fractal discrimine áreas de textura semejante por medio de valores de transición entre las zonas de mayor y menor homogeneidad. No obstante, si  $w_{size}$  es excesivamente grande puede ocurrir, que aunque la dimensión fractal sea alta (zonas rugosas), se asigne valores similares de dimensión a zonas demasiado extensas, con diferentes características texturales, lo que se traduce en un deterioro de las características espectrales de la imagen, como se puede observar en la figura 2 para  $w_{size}=127$ .



**Figura 1.** Fila superior: Imagen multiespectral original (a) y mapas de dimensión fractal para  $w_{size}=15$  (b),  $31$  (c) y  $63$  (d). Fila inferior: imagen pancromática original (e), y mapas de dimensión fractal para  $w_{size}=15$  (f),  $31$  (g) y  $63$  (h)



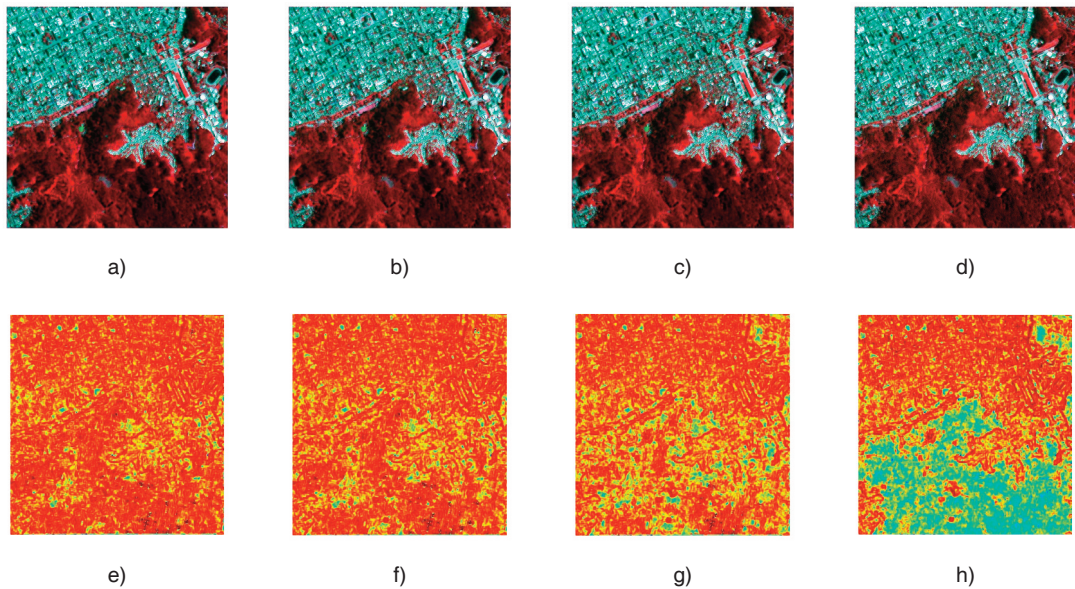
**Figura 2.** Perfiles de mapas de dimensión fractal, para una línea de una imagen dada y diferentes tamaños de  $w_{size}$

Se puede apreciar como los mapas de dimensión fractal definidos, tienden de forma local a mantener la característica de rugosidad presente a diferente escala (resoluciones espaciales) en cada una de las imágenes fuente. En definitiva, se puede afirmar que la principal aportación de este tipo de mapas, es que recogen las características de rugosidad de las cubiertas presentes en las imágenes bajo análisis. Esta información permite discriminar las zonas que requieren mayor integración de información espacial proveniente de la imagen pancromática a la imagen multiespectral. Los experimentos realizados han mostrado que el coste computacional aumenta con el tamaño de la ventana.

En la fila superior de la figura 3, se han incluido composiciones color de las imágenes fusionadas mediante el método propuesto para  $w_{size} = 15$  (a), 31 (b) y 63 (c) y mediante el método estándar TWA ( $\alpha^i(x,y)=1$ ) (d). La calidad de las imágenes fusionadas se ha calculado de forma global y local. En el primer caso, se han calculado para cada  $w_{size}$ , diferentes índices de calidad de imágenes fusionadas propuestos en la literatura: ERGAS, índice de Zhou, Correlación Espectral (CC), Q4 y el índice SAM. La Tabla 1 incluye la ecuación que define cada uno de estos índices, sus valores ideales y la referencia bibliográfica donde se definen. Como se puede observar en esta Tabla, los índices ERGAS y SAM indican una mejor calidad de las imágenes fusionadas cuanto mas pequeños son. Mientras que los índices de Zhou, CC y Q se aproximan a 1 a medida que la calidad de las imágenes fusionadas mejora. Los va-

lores de estos índices obtenidos para las imágenes fusionadas, se han incluido en la Tabla 2. En esta tabla se ha utilizado el acrónimo ATWF\_WX para representar el método de fusión basado en mapas de dimensión fractal, con un tamaño de ventana X. Los mejores valores de los índices se han remarcado en negrita. En la tabla se puede observar que aunque las variaciones de los valores de los índices son pequeñas, el método propuesto proporciona en la mayoría de los casos mejores valores de los índices que el método TWA, de hecho, cuando no los mejora los iguala. No obstante y dado el carácter del método propuesto, que permite adaptar el proceso de fusión a las características de las diferentes cubiertas presentes en las imágenes fuente, resulta mucho mas ilustrativo de las prestaciones de dicho método, llevar a cabo una evaluación local de la calidad de las imágenes fusionadas. Para ello, se han calculado mapas locales del índice de calidad Q (Wang, 2002). En la fila inferior de la figura 3 se muestran estos mapas para cada una de las imágenes fusionadas. Los colores cálidos corresponden a valores altos de Q y por tanto a una buena calidad de la fusión, mientras que los fríos, indican grandes diferencias entre las imágenes fuente y las fusionadas. Los dos aspectos mas destacables de estos resultados son: las variaciones de los mapas con el tamaño de la ventana y el hecho de que mientras el método TWA, proporciona buena calidad en la zona urbana y peor en la boscosa, el método propuesto, proporciona una calidad de fusión mucho más homogénea en toda la imagen.





**Figura 3.** -Fila superior imágenes fusionadas: con el método propuesto para diferentes tamaños de ventana, 15 (a), 31 (b) y 63 (c) y mediante el método TWA (d). Fila inferior: mapas de calidad de las imágenes fusionadas

Índice	Ecuación	Valor ideal	Referencia
CC	$\frac{1}{N_{Bands}} \sum_{i=1}^{N_{Bands}} corr_i(I_{MUL}^i, I_{FUS}^i)$	1	Vijayaraj <i>et al.</i> (2004)
ERGAS	$100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{NP} \sum_{i=1}^{N_{Bands}} \left( \frac{RMSE(I_{MUL}^i, I_{FUS}^i)^2}{(I_{MUL}^i)^2} \right)}$	0	Wald (2002)
Q	$\frac{4\sigma_{I_{MUL}I_{FUS}} \cdot \bar{I}_{MUL} \bar{I}_{FUS}}{(\sigma_{I_{MUL}}^2 + \sigma_{I_{FUS}}^2) \cdot [(\bar{I}_{MUL})^2 + (\bar{I}_{FUS})^2]}$	1	Wang y Bodik (2002)
SAM	$S = \cos^{-1} \frac{\sum_{b=1}^N i_b r_b}{\sqrt{\sum_{b=1}^N i_b^2 \sum_{b=1}^N r_b^2}}$	0	Kruse <i>et al.</i> (1993)
Z	$\frac{1}{N_{Bands}} \sum_{i=1}^{N_{Bands}} corr_i(I_{PAN}^{high-pass}, I_{FUS}^{high-pass})$	1	Zhou <i>et al.</i> (1998)

**Tabla 1.** Índices de calidad

MÉTODO	ERGAS	Zhou	Q4	CC	SAM
WATF_W7	<b>1.07</b>	0.89	<b>0.57</b>	<b>0.92</b>	<b>2.59</b>
WATF_W15	1.08	0.89	0.56	<b>0.92</b>	2.62
WATF_W31	1.09	0.9	0.54	<b>0.92</b>	2.65
WATF_W63	1.09	0.9	0.51	0.91	2.67
WATF_W127	1.1	0.91	0.48	0.91	2.69
WAT	1.14	<b>0.91</b>	0.41	0.91	2.76

**Tabla 2.** Valores de los índices de calidad de las imágenes fusionadas

## CONCLUSIONES

Se ha mostrado que los resultados proporcionados por la metodología propuesta dependen del tamaño de ventana ( $w_{size}$ ) utilizada para el cálculo de la dimensión fractal. Por un lado, el coste computacional aumenta con  $w_{size}$ ; sin embargo, desde el punto de vista de la extracción de información textural, un  $w_{size}$  demasiado pequeño, produce mapas de dimensión fractal cuasi-binarios, esto implica que en la imagen fusionada existirán zonas en las que se integre la casi totalidad de la información espacial, proveniente de la imagen pancromática, mientras que en las zonas de baja rugosidad, solo existirá información proveniente de la imagen multiespectral. Es por tanto necesario establecer un compromiso entre el tamaño de ventana que mejor integre la información de las imágenes fuente y cuyo coste computacional no sea elevado.

## REFERENCIAS

- FALCONER, K. 1990. *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*. John Wiley & Sons, Chichester, England.
- HUANG, X., ZHANG, L., & LI, P., 2008. A multiscale feature fusion approach for classification of very high resolution satellite imagery based on Wavelet transform, *Int. J. Remote Sens.* 29, (20). 5923–5941.
- GONZALO, C. & LILLO-SAAVEDRA, M. 2008. A Directed Search Algorithm For Setting The spectral-spatial quality trade-off of fused images by the Wavelete à trous method, *Can. J. Remote Sensing.* 34 (4). 367-375.
- KRUSE, F., LEFKOFF, A., BOARDMAN, J., HEIDRECHT, K., SHAPIRO, A., BARLOON, P., & GOETZ, A., 1993. Interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote Sensing of Environment.* 44(2). 145 – 163.
- LILLO-SAAVEDRA, M. & GONZALO, C. 2006. Spectral or spatial quality for fused satellite imagery? a trade-off solution using the Wavelet à trous algorithm. *Int. J. Remote Sens.* 27 (7). 1453–1464.
- LILLO-SAAVEDRA, M. & GONZALO, C. 2009. Integration of panchromatic and multispectral images by local fractal dimension, in *Remote Sensing for a Changing Europe.* 1: 232-238.
- NUÑEZ, J., OTAZU, X., FORS, O., PRADES, A., PALA, V. & ARBIOL, R. 1999. Multiresolution-based image fusion with additive Wavelet decomposition, *Int. J. Remote Sens.* 37 (3). 1024–1211.
- VIJAYARAJ, V., O'HARA, CH. G. & YOUNAN, N. H., 2004, Quality analysis of pansharpened images, in *Proceedings Geoscience and Remote Sensing Symposium.* 1: 85-88.
- WALD, L. 2002. *Data Fusion: Definitions and Architectures*, Les Presses - Mines Paris.
- WANG, Z. & BOVIK, A. 2002. A Universal Image Quality Index, *IEEE Signal Processing Letters.* 9 (3). 81-84.
- ZHOU, J., CIVCO, D. L., AND SILANDER, J. A., 1998, A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. *International Journal of Remote Sensing.* 19(4). 743–757.