

## Generación basada en objetos de mapas de la medida local de la calidad de imágenes fusionadas de Teledetección

Dionisio Rodríguez-Esparragón<sup>(1)</sup>, Ángel García-Pedrero<sup>(2)</sup>, Javier Marcello-Ruiz<sup>(1)</sup>, Consuelo Gonzalo-Martín<sup>(2)</sup> y Francisco Eugenio-González<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto de Oceanografía y Cambio Global (IOCG), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), Campus Universitario de Tafira, 35017 Las Palmas de Gran Canaria, España. Emails: dionisio.rodriguez@ulpgc.es, javier.marcello@ulpgc.es, francisco.eugenio@ulpgc.es

<sup>(2)</sup> Centro de Tecnología Biomédica (CTB), Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Campus de Montegancedo, Pozuelo de Alarcón, 28223 Madrid, España. Emails: [am.garcia@alumnos.upm.es](mailto:am.garcia@alumnos.upm.es), [consuelo.gonzalo@upm.es](mailto:consuelo.gonzalo@upm.es)

**Resumen:** En este trabajo se describe una metodología para la evaluación de la calidad espacial de imágenes fusionadas de teledetección. A pesar de que existen numerosos indicadores de calidad publicados en la literatura científica, no existe un consenso sobre su rendimiento. En general utilizan el píxel como elemento de referencia para el cálculo y el resultado es un único valor global que difícilmente representa la percepción de la calidad de un humano. La metodología propuesta explota las diferencias entre objetos como método para generar un mapa de medida local de la calidad, a partir del cual se puede derivar un valor de la calidad espacial global. Esta aproximación se ha sometido a validación mediante su aplicación a una base de datos de imágenes fusionadas y comparación con otra medida de calidad espacial.

**Palabras clave:** calidad de imágenes, evaluación de la calidad, índices espaciales, mapas locales de calidad, fusión de imágenes, pan-sharpening

### *Object-based generation of maps of the local measure of quality of pan-sharpened images*

**Abstract:** *In this paper a methodology for evaluating the spatial quality of fused images is described. Even though there are numerous indicators published in the literature, there is no consensus on their performance. In general, they use the pixel as a reference for the computation so that the result is a unique overall value that hardly represents the perceived quality of a human. The proposed methodology exploits the differences among objects as a method to generate a map of the local measure of quality, from which it can be derived a value of overall spatial quality. This approach has been subjected to validation by applying it to a database of fused images, and comparing it with other spatial quality measure.*

**Keywords:** *image quality, quality assessment, spatial indexes, quality local maps, image fusion, pan-sharpening*

### 1. INTRODUCCIÓN

La fusión de imágenes de teledetección o pan-sharpening consiste en añadir la información que proporciona la imagen de intensidad y muy alta resolución espacial, denominada pancromática (PAN) a la imagen multispectral (MS) compuesta de múltiples bandas del espectro electromagnético y caracterizada, por tanto, por su alta resolución espectral, frente a una menor resolución espacial con respecto a la PAN (Xu *et al.* 2014).

El resultado de este proceso es una imagen fusionada (FUS) cuya calidad queda determinada por la fidelidad espectral a la imagen MS original y la cantidad de información de alta frecuencia o detalle espacial que comparte con la imagen PAN (Lillo-Saavedra *et al.* 2006).

La evaluación de la calidad de las imágenes es un problema científico no cerrado aún. De forma genérica, se puede abordar con métodos cuantitativos o cualitativos. Estos últimos, son poco empleados debido a su alto costo, lentitud y sesgo (Wang *et al.* 2004). Aunque las evaluaciones cuantitativas no presentan

estos inconvenientes, no se ha logrado aún una metodología de medida de la calidad de imágenes completamente satisfactoria en términos de la obtención de un resultado equivalente al que un conjunto de observadores emitiría (Liu *et al.* 2015).

La evaluación cuantitativa de la calidad de las imágenes fusionadas requiere, por tanto, medidas de la calidad espectral (con la imagen MS como referencia) y calidad espacial (con la imagen PAN como referencia). Obtener una indicación de la calidad permite comparar algoritmos de fusión y someterlos a proceso de mejora.

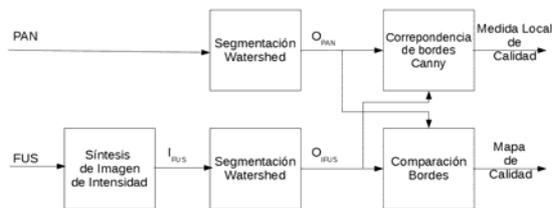
Para ello, se han descrito en la literatura científica distintos indicadores tanto espectrales como espaciales que se suelen basar en la comparación de las imágenes FUS y de referencia (PAN o MS) a nivel de píxel (Witharana 2013). Sin embargo, el píxel es un elemento de la imagen sin significado físico. Además, el resultado de la evaluación se ofrece como un único valor que difícilmente puede representar la variabilidad zonal de las imágenes de teledetección (Lillo-Saavedra *et al.* 2011). En este sentido, la evaluación basada en objetos permite una aproximación a las medidas cualitativas. Además, la calidad se puede representar por zonas homogéneas. Así

el resultado no queda determinado por la distribución espacial de los píxeles en la imagen.

Este trabajo se centra en la evaluación de la calidad espacial de las imágenes fusionadas. Para ello se describe en las secciones posteriores una metodología basada en la extracción de los objetos de la imagen (segmentos en este caso) que serán utilizados para la obtención de los mapas de calidad espacial.

## 2. METODOLOGÍA PROPUESTA Y SU EVALUACIÓN

### 2.1 Metodología propuesta



**Figura 1.** Metodología de evaluación de la calidad espacial propuesta

La Figura 1 describe la metodología de evaluación de la calidad espacial propuesta. En ella se distinguen cuatro pasos:

**Paso 1.** En primer lugar se sintetiza una imagen de intensidad,  $I_{FUS}$ , como media aritmética de las bandas de la imagen de entrada  $FUS$ .

**Paso 2.** A continuación, se aplica la transformada Watershed (TW) (Meyer 1994, Roe dink y Meijster 2000) a la imagen de referencia,  $PAN$ , y a la imagen de intensidad,  $I_{FUS}$ , obtenida en el bloque anterior con el fin de extraer los segmentos de ambas imágenes. Los resultados son dos imágenes binarias  $O_{PAN}$  y  $O_{IFUS}$ .

**Paso 3.a** Se construye un mapa binario de calidad espacial como el valor absoluto de la diferencia de las imágenes  $O_{PAN}$  y  $O_{IFUS}$ , es decir, ejecutando una comparación de bordes entre ambas imágenes.

**Paso 3.b** Se calcula una medida global de la calidad espacial aplicando la correspondencia de bordes Canny (CEC) (Rodríguez-Esparragón *et al.* 2014, Witharana 2013) según se describe en la ecuación 1.

$$CEC = 100 * \frac{\sum_{NP} O_{PAN} * O_{IFUS}}{\sum_{NP} O_{PAN}} \quad (1)$$

donde:

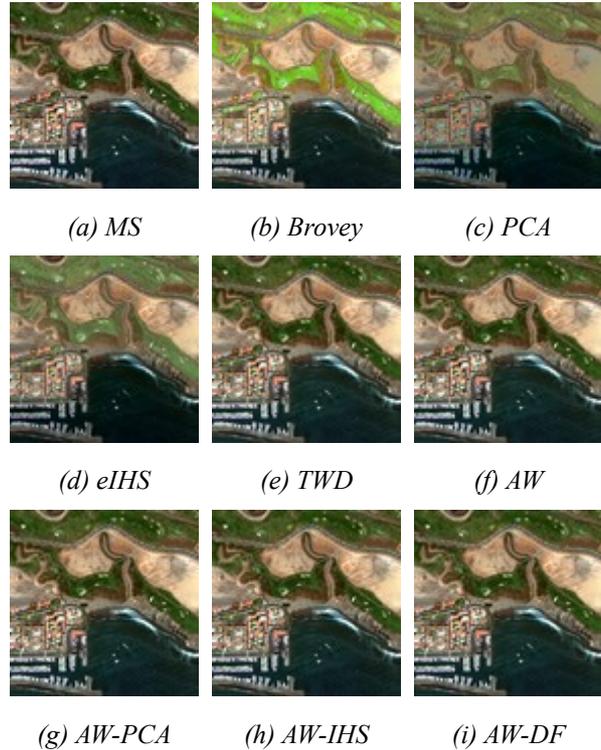
-  $NP$ =Número de píxeles

El índice CEC se mide en porcentaje, indicando el 100% un parecido máximo entre los bordes de las imágenes a evaluar.

### 2.2 Validación de la metodología

La validación de la metodología se llevó a cabo aplicándola a una base de datos de imágenes al mismo

tiempo que se medía la calidad espacial con el índice Zhou (ZI) (Zhou J. *et al.* 1998) a efectos de comparación.



**Figura 2.** Base de datos de imágenes de prueba

La Base de Datos creada para los experimentos descritos en este trabajo contiene una imagen real y ocho imágenes fusionadas que se pueden observar en la Figura 2. Esta imagen ha sido seleccionada porque presenta diferentes cuartas trestres: vegetación urbana, construcciones y costa. Pertenece a un área del sur de la isla de Gran Canaria (España) y fue capturada por los sensores del satélite GeoEye (Figura 2 (a)). De ella se dispone de la imagen MS de cuatro bandas (rojo, verde, azul y el infrarrojo cercano) y la PAN.

Las imágenes fusionadas se obtuvieron con diferentes algoritmos (Lillo-Saavedra *et al.* 2011, Marcella *et al.* 2013): Brovey, análisis de componentes principales (PCA), intensidad, tono y saturación extendido (eIHS), Mallat (TWD), al algoritmo adaptativo Átrous (AW), combinación Átrous con IHS (AW-I), con PCA (AW-PCA) y con mapas de dimensión fractal (AW-DF).

Por otro lado, el índice Zhou es un indicador de la calidad espacial ampliamente utilizado en la literatura científica en el ámbito de la tele-detección. Su formulación aparece en la ecuación 2.

$$ZI = \frac{1}{NB} \sum_{k=1}^{NB} CC(PAN_{HP}, FUS_{k_{HP}}) \quad (2)$$

donde:

-  $NB$ =Número de bandas de la imagen MS

-  $CC$ =Operación de correlación

-  $PAN_{HP}$ = Imagen PAN filtrada paso alto

- FU  $S_{KHP}$ = La banda  $K$  de la imagen FUS filtrada paso alto.

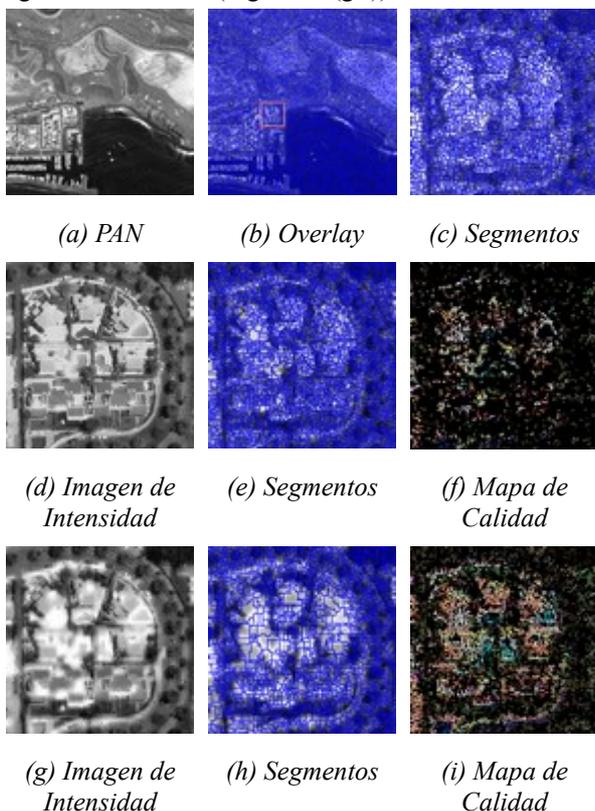
Los coeficientes del filtro paso alto aplicado aparecen en la ecuación 3:

$$h = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Al tratarse de un índice basado en correlación su valor está acotado entre -1 y 1, indicando el nivel máximo parecido espacial entre la imagen FUS y la imagen PAN.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 3 se observan los resultados de aplicar la metodología de evaluación propuesta a dos imágenes de la base de datos. En concreto para la imagen fusionada con el algoritmo eIHS (Figuras 3(d-f)) y con el algoritmo AW-PCA (Figuras 3(g-i)).



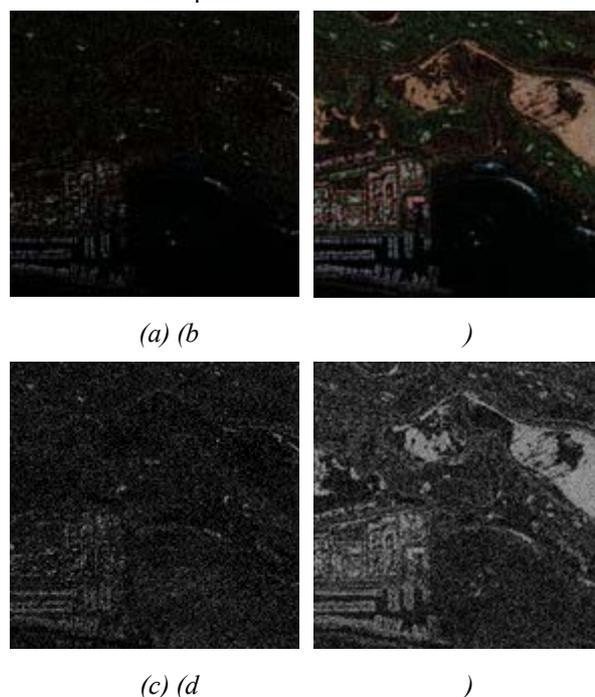
**Figura 3.** Resultados de la aplicación de la metodología propuesta. (a-c) imagen PAN; (d-f) detalle de imagen eIHS; (g-i) detalle de imagen AW-PCA

En la primera fila de la Figura 3 aparecen la imagen PAN de referencia (Figura 3(a)), su sobre-segmentación resultado de la aplicación de la TW (Figura 3(b)) y, en la Figura 3(c), la superposición de los segmentos (en azul) sobre una porción de la imagen PAN. Además, en la Figura 3(b) se encuentra en rojo el área que se ha seleccionado para mejor visualización de los resultados

de los mapas de calidad espacial de las imágenes mencionadas en el párrafo anterior.

La evaluación visual de las imágenes de intensidad obtenidas a partir de las fusiones producidas por los algoritmos eIHS (Figura 3(d)) y AW-PCA (Figura 3(g)) muestra el peor comportamiento espacial de este último, como cabría esperarse. Los resultados de las TW, que se pueden observar en las Figuras 3(e) y 3(h) superpuestos en azul sobre las respectivas imágenes de intensidad, reflejan este comportamiento. En las Figuras 3(f) y 3(i) se pueden apreciar los mapas de calidad espacial resultantes de cada algoritmo. A efectos de visualización, las imágenes binarias de error se han utilizado como máscaras aplicadas sobre la imagen MS original reescalada, de manera que se visualicen mejor las zonas de mayor o menor error espacial generadas tras el proceso de fusión.

En la Figura 4(a-b) se aprecian los mapas completos de calidad espacial para las dos imágenes fusionadas ya mencionadas y si netizados según lo descrito en el párrafo anterior. En la Figura 4(c-d) aparecen los mapas binarios de error que se usaron como máscaras.

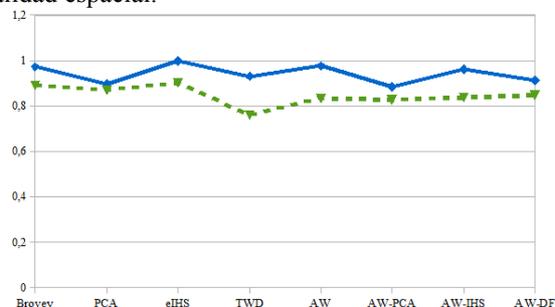


**Figura 4.** Mapas de Calidad Espacial de las Imágenes eIHS (a) y AW-PCA (b) y sus correspondientes máscaras de error binarias (c) y (d)

Por último, en la Figura 5 se muestran los resultados de la evaluación global usando del índice CEC (línea discontinua de color verde), contrastándolos con los obtenidos por el índice de Zhou. El índice CEC se presenta escalado (dividido por 100) de modo que se facilite la comparación.

Todos los índices evalúan a la imagen fusionada eIHS como la que tiene mejor calidad espacial. A pesar de que los dos indicadores siguen la misma tendencia tal y como se observa en la Figura 5, hay pequeñas

discrepancias en la designación de la imagen con peor calidad espacial. La CEC, aplicada a partir de las imágenes generadas por el método propuesto, encuentra que la imagen TWD es la de peor calidad espacial mientras que el índice Zhou evalúa a la imagen fusionada con el algoritmo AW-PCA como la de peor calidad espacial.



**Figura 5.** Evaluación global de la calidad espacial usando distintos índices: CEC (línea verde discontinua), Zhou (línea azul continua)

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una metodología de evaluación de la calidad de imágenes fusionadas basada en la extracción de los segmentos de la imagen PAN de referencia y de una imagen de intensidad sintetizada a partir de la imagen FUS.

En este sentido, la comparación de los segmentos permite obtener un mapa local de calidad en un nivel de información superior al píxel. Además, posibilita el análisis del comportamiento de los algoritmos de fusión por zonas o coberturas.

Para evaluar la metodología se construyó una base de datos de imágenes y se compararon las evaluaciones así obtenidas con las proporcionadas por el índice Zhou.

Los resultados parecen indicar que esta metodología es consistente con las calidades esperadas de los algoritmos de fusión a nivel de píxel. Así lo corrobora también la alta correlación con los valores obtenidos tras aplicar el índice Zhou (Figura 5) y la evaluación visual (Figura 3).

En este sentido, el método propuesto discrimina muy bien entre los diferentes tipos de algoritmos, dando valores más altos, para los algoritmos de sustitución y el de Brovey, y el valor más bajo para el algoritmo basado en el TWD que surge para mejorar la calidad espectral, pero que debido a los artefactos en forma de dientes de sierra que introduce en los bordes curvos da peor calidad espacial, y la mantiene para el resto de los algoritmos basados en AW, donde la principal diferencia no es la calidad espacial, sino la espectral.

Además, el método propuesto añade la ventaja de poder analizar la distribución espacial de la calidad evaluada a través de la generación de mapas de la medida local (Figuras 3 y 4), en concordancia con el hecho de que los algoritmos de fusión no funcionan homogéneamente en todas las imágenes ni en todas las coberturas.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido apoyado por el proyecto ARTEMISat (CG L2013-46674-R), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Lillo-Saavedra, M., y González, C. 2006. *Spectral or spatial quality for fused satellite imagery? A trade-off solution using the wavelet transform algorithm*. International Journal of Remote Sensing, 27 (7); 1453-1464.
- Lillo-Saavedra, M., González, C., y Lago, O. 2011. *Toward reduction of artifacts in fused images*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13:3; 368-375.
- Liu, J., Huang, J., Liu, S., Li, H., Zhou, Q., y Liu, J. 2015. *Human visual system consistent quality assessment for remote sensing image fusion*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 105; 79-90.
- Marcello, J., Medina, A., y Eugenio, F. 2013. *Evaluation of spatial and spectral effectiveness of pixel-level fusion techniques*. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 10:3; 432-436.
- Meyer, F. 1994. *Topographic distance and watershed lines*. Signal processing, 38:1; 113-125.
- Rodríguez-Esparragon, D., Marcello-Ruiz, J., Medina-Machín, A., Eugenio-Gonzalez, F., González-Martin, C., y García-Pedrero, A. 2014. *Evaluation of the performance of spatial assessments of pansharpened images*. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2014; 1619-1622.
- Roerdink, J. B., y Meijster, A. 2000. *The watershed transform: Definitions, algorithms and parallelization strategies*. Fundamenta Informaticae, 41:1; 187-228.
- Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., y Simoncelli, E. P. 2004. *Image quality assessment: from error visibility to structural similarity*. Image Processing, IEEE Transactions on, 13:4; 600-612.
- Witharana, C., Civco, D. L., y Meyer, T. H. 2013. *Evaluation of pansharpening algorithms in support of earth observation based rapid mapping workflows*. Applied Geography, 37; 63-87.
- Xu, Q., Zhang, Y., y Li, B. 2014. *Recent advances in pansharpening and key problems in applications*. International Journal of Image and Data Fusion, 5:3; 175-195.
- Zhou, J., Civco, D. L., y 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.