

Assessment of the fusion of satellite images using traditional methods: Brovey Transformation and Multiplication

Javier Medina, Ph. D¹, Laura Becerra, Msc², Erika Upegui, PH. D₁

¹ Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, rmedina@udistrital.edu.co, esupeguic@udistrital.edu.co

²SENA, Facultad, Facultad Seccional Centro de Gestión Agroempresarial del Oriente, Colombia, lauracriss@misena.edu.co.

Abstract— This article presents the assessment of the fusion of Ikonos satellite images using two methods, the first corresponds to the Brovey Transform and the second Multiplication method implemented in the Matlab Software, with the objective of identifying which of the two methods improves the special resolution without significant loss of spectral richness. Assessment of two implemented methods were performed using the following indices: ERGAS (spectral and spatial), RASE, Universal Quality Index Qu, and Correlation Index, where the best results on spatially and spectrally richness were obtained with first method called transform Brovey.

Keywords— Transform Brovey, Multiplication method, satellite images, fusion, Ikonos.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.91>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Evaluación de la fusión de imágenes satelitales usando métodos tradicionales: Transformada de Brovey y Multiplicación

Javier Medina, Ph. D¹, Laura Becerra, Msc², Erika Upegui, PH. D¹

¹ Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, rmedina@udistrital.edu.co, esupeguic@udistrital.edu.co

²SENA, Facultad, Facultad Seccional Centro de Gestión Agroempresarial del Oriente, Colombia, lauracriss@misena.edu.co.

Abstract– This article presents the assessment of the fusion of Ikonos satellite images using two methods, the first corresponds to the Brovey Transform and the second Multiplication method implemented in the Matlab Software, with the objective of identifying which of the two methods improves the special resolution without significant loss of spectral richness. Assessment of two implemented methods were performed using the following indices: ERGAS (spectral and spatial), RASE, Universal Quality Index Q_u , and Correlation Index, where the best results on spatially and spectrally richness were obtained with first method called transform Brovey.

Keywords-- Transform Brovey, Multiplication method, satellite images, fusion, Ikonos.

I. INTRODUCCIÓN

La fusión permite la combinación y utilización de datos procedentes de fuentes diferentes, buscando obtener información de “mayor calidad” que la original, la cual dependerá de la aplicación [1][2]. La fusión de imágenes es una respuesta a la frecuente necesidad de tener en una sola imagen datos de alta resolución espectral y espacial a partir de imágenes de diferente resolución espacial y/o diferentes sensores remotos. La fusión permite obtener información detallada sobre el medio ambiente urbano y rural, útil para una aplicación específica en diferentes estudios geográficos [3][4]. Las técnicas de fusión de imágenes, como una solución alternativa, se pueden utilizar para integrar el detalle geométrico de una imagen, para este caso de estudio una imagen multispectral (MULTI) de baja resolución y una pancromática (PAN) de alta resolución, del sensor Ikonos, donde se busca producir una nueva imagen de alta resolución espacial y espectral (N-MULT) [5].

Los avances tecnológicos en el desarrollo de sensores remotos ponen a disposición diferentes tipos de imágenes en las cuales las mejoras, tanto en la información espacial como espectral, son evidentes. Sin embargo, la necesidad de mejoras y realces para extraer mayor información de las imágenes sigue siendo una preocupación para los científicos, por lo cual la fusión de imágenes satelitales sigue siendo un área de investigación [2], máxime cuando las investigaciones involucran datos existentes de sensores antiguos.

El objetivo principal de este artículo es evaluar la eficiencia de dos métodos convencionales: el primero, la transformada de Brovey [1]; y el segundo método, el de Multiplicación, en la fusión de imágenes de satélite. La imagen fusionada N-MULT se realiza en una sub-escena de una

imagen MULTI del satélite Ikonos que tiene 4 metros de resolución espacial con una imagen PAN Ikonos de 1 metro de resolución espacial, de un sector nor-occidental de la ciudad de Bogotá (Colombia), en la que se encuentra parte del aeropuerto “El Dorado”. Se exponen los resultados de la fusión de imágenes usando la Transformada Brovey, comparándola con el método de Multiplicación. Las imágenes fusionadas se obtienen como resultado de operaciones algebraicas entre bandas de la imagen MULTI y PAN. Partiendo de las bandas de la imagen MULTI que intervienen en una composición RGB, se normaliza cada una de las bandas de la composición RGB y se multiplica el resultado por la imagen PAN, se añade el brillo o intensidad de la imagen PAN a la composición de la MULTI [1][6]. El método de Multiplicación resulta de multiplicar cada banda con la imagen PAN y así obtener las nuevas bandas, para generar la nueva imagen N-MULT. El método multiplicativo se basa en la integración aritmética simple de los dos conjuntos de imágenes MULTI y PAN.

Usando el toolbox de Procesamiento Digital de Imágenes predefinidos en el software MatLab [7] para realizar los dos métodos anteriormente descritos. Se realiza la evaluación de la fusión se realiza a través de cuatro indicadores, a saber, el índice de calidad Universal Q_u , la Ccorrelación espacial y espectral, el índice RASE y el índice ERGAS espacial y espectral. Donde se demuestra que la Transformada de Brovey permite obtener una imagen fusiona N-MULTI, con una ganancia espacial significativa y degrada la riqueza espectral menos que el método de Multiplicación.

II. ZONA DE ESTUDIO

Para la implementación de los dos métodos propuestos para fusionar imágenes satelitales, Transformada de Brovey y el método de Multiplicación, se tiene una sub-escena de una imagen satélite del sensor Ikonos (MULTI) en una composición a color RGB (Azul, Verde, Rojo), y una imagen pancromática Ikonos (PAN) de tamaño 2048x2048 píxeles, como se muestran en las figuras 1 y 2, respectivamente.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.91>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

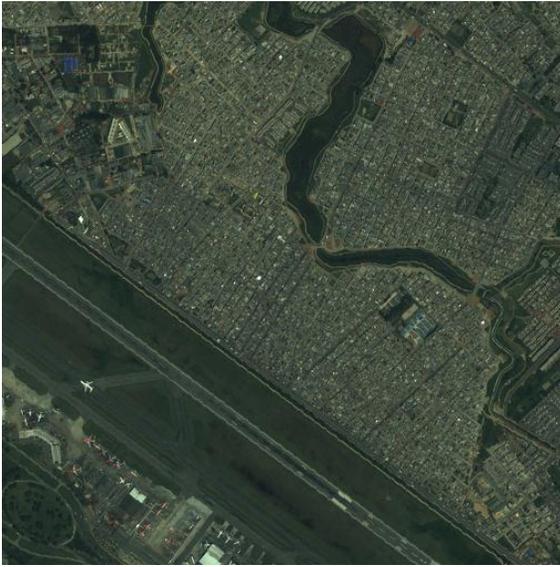


Fig. 1 Imagen Multiespectral Ikonos MULTI



Fig.2 Imagen Pancromática Ikonos PAN

III. MÉTODOS BASADOS EN OPERACIONES ALGEBRAICAS PARA LA FUSIÓN DE IMÁGENES

Las imágenes fusionadas se obtienen como resultado de operaciones algebraicas entre bandas de la imagen MULTI y la PAN. Usando las tres bandas B1, B2 y B3 de la imagen MULTI y la banda imagen PAN se transforma para encontrar las nuevas bandas NB1, NB2 y NB3 lo cual permite generar la nueva imagen fusionada N-MULT, según el método.

A. Transformada Brovey

1) Registrar la composición a color RGB (verdadero color) de la imagen MULTI con la PAN, usando el mismo tamaño de píxel de esta última (1 metro).

2) Para obtener las nuevas bandas se realiza las operaciones algebraicas (1 – 3):

$$NB1 = (3B1/(B1 + B2 + B3)) * PAN \quad (1)$$

$$NB2 = (3B2/(B1 + B2 + B3)) * PAN \quad (2)$$

$$NB3 = (3B3/(B1 + B2 + B3)) * PAN \quad (3)$$

3) Las nuevas bandas NB1, NB2 y NB3 se concatenan para generar la nueva imagen fusionada multiespectral N-MULTI.

Como parte para esta investigación se realizó, ajuste de histogramas de cada banda fusionada respecto de las bandas de la MULTI original. Una vez implementado en el software MatLab se puede ver que es fácilmente aplicable para generar imágenes fusionadas, además bajo coste computacional.

B. Método de Multiplicación

1) Registrar la composición a color RGB (verdadero color) de la imagen MULT con la PAN, usando el mismo tamaño de píxel de esta última (1 metro).

2) Para obtener las nuevas bandas se realiza las operaciones algebraicas (4 – 6):

$$NB1 = B1 * PAN \quad (4)$$

$$NB2 = B2 * PAN \quad (5)$$

$$NB3 = B3 * PAN \quad (6)$$

3) Con las nuevas bandas NB1, NB2 y NB3 se concatenan para generar la nueva imagen fusionada multiespectral N-MULTI.

Al igual que el método anterior se implementó en MatLab, y se realizó el ajuste del histograma para la posterior comparación.

IV. ÍNDICES DE EVALUACIÓN

Para la evaluación y análisis de los resultados de las imágenes fusionadas se analizaron los siguientes índices: índice de calidad, coeficiente de correlación, Índice RASE, y ERGAS que se describen a continuación

A. Coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación (CC) [5][9] está definido por (7).

$$corr(x/y) = \frac{\sum_{j=1}^{npix} (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{npix} (x_j - \bar{x})^2 \sum_{j=1}^{npix} (y_j - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

Digital Object Identifier: (to be inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

En el caso de evaluar la conservación de la resolución espectral (ver tabla I) se calcula la correlación entre las bandas de las imágenes fusionadas (R, G y B), y las bandas de la imagen MULTI respectivamente; mientras que para analizar la conservación de la resolución espacial se obtienen las correlaciones de las diferentes bandas de las imágenes fusionadas con la imagen PAN (ver tabla I) En los dos casos los valores varían entre -1 y 1.

B. Índice de calidad Qu

Este índice [8] identifica cualquier distorsión como una combinación de tres factores: pérdida de correlación, distorsión de luminancia y contraste de distorsión. El valor ideal es el cercano a 1, y se obtiene con (8), los resultados se presentan en las tablas II y III.

$$Qu = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \cdot \frac{2\bar{x}\bar{y}}{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2} \cdot \frac{2\sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (8)$$

C. Índice ERGAS

Para la evaluación de la calidad de las imágenes fusionadas se utilizaron los índices $ERGAS_{Spectral}$ (resultados en tabla II) y $ERGAS_{Espacial}$ (resultados en la tabla III), donde el valor ideal es el más cercano a cero. La definición de $ERGAS_{Spectral}$ (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse en frances) [2][8][10] es dada por (9):

$$ERGAS_{Spectral} = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N_{Bandas}} \sum_{i=1}^{N_{Bandas}} \left[\frac{(RMSE_{Spectral}(Banda^i))^2}{(MULTI^i)^2} \right]} \quad (9)$$

Donde h y l representan la resolución espacial de las imágenes PAN y MULTI; N es el número de bandas de la imagen fusionada; $MULTI^i$ es el valor de la radiancia de la banda i -ésima de imagen y RMSE está definida por (10):

$$RMSE_{Spectral}(Banda^i) = \frac{1}{NP} \sqrt{\sum_{j=1}^{NP} (MULTI^i(j) - FUS^i(j))^2} \quad (10)$$

Siendo NP el número de píxeles de cada imagen fusionada $FUS^i(x, y)$

De manera homologa, Lillo y su equipo [11][12] proponen otro índice, denominado $ERGAS_{Espacial}$ que está inspirado en $ERGAS_{Spectral}$ y busca evaluar la calidad espacial de las imágenes fusionadas, y está definido en (11):

$$ERGAS_{Espacial} = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N_{Bandas}} \sum_{i=1}^{N_{Bandas}} \left[\frac{(RMSE_{Espacial}(Banda^i))^2}{(PAN^i)^2} \right]} \quad (11)$$

Donde h es la resolución de la imagen de alta resolución especial (imagen PAN) y l es la imagen de baja resolución espectral (imagen MULTI) y $RMSE_{Espacial}$ es definido en (12)

$$RMSE_{Espacial}(Banda^i) = \frac{1}{NP} \sqrt{\sum_{j=1}^{NP} (PAN^i(j) - FUS^i(j))^2} \quad (12)$$

D. Índice RASE

El índice RASE (Relative average spectral error en inglés) [10] se expresa como un porcentaje (13) y entre más cercano a cero menor será el error (ver resultados en las tablas II y III):

$$RASE = 100 \frac{1}{M} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (RMSE(B_i))^2} \quad (13)$$

En donde M es la radiancia media de todas las bandas originales, N el número de bandas fusionadas. En este índice se busca obtener valores muy pequeños, siendo el menor de la totalidad el mejor.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La evaluación de los dos métodos de fusión de imágenes se realizó usando los índices anteriormente desarrollados los cuales están implementados en el toolbox hyperspectral-index-analysis usando MatLab [8].

TABLA I
CORRELACIÓN ESPACIAL Y ESPECTRAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA IMAGEN IKONOS FUSIONADA.

FUSIÓN DE IMÁGENES POR:	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ESPECTRAL			COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ESPACIAL		
	BANDA R	BANDA G	BANDA B	BANDA R	BANDA G	BANDA B
Transformada de Brovey	0,66	0,51	0,41	0,95	0,98	0,96
Multiplicación	0,84	0,83	0,80	0,83	0,85	0,85

TABLA II
INDICES RASE, ERGAS Y QU PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ESPECTRAL DE LA IMAGEN IKONOS FUSIONADA.

FUSIÓN DE IMÁGENES POR:	RASE	ERGAS ESPECTRAL	QU
Transformada de Brovey	50,8%	12,7	0,39
Multiplicación	76,6%	19,1	0,33

INDICES RASE, ERGAS Y QU PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ESPACIAL DE LA IMAGEN IKONOS FUSIONADA

TABLA III

FUSIÓN DE IMÁGENES POR:	RASE	ERGAS ESPACIAL	QU
Transformada de Brovey	44,07%	11,66	0,71
Multiplicación	76,66%	19,16	0,34

Las imágenes fusionadas con la Transformada de Brovey y el método de multiplicación se muestran en la figura 3 y 4 respectivamente.



Fig.3 Transformada de Brovey

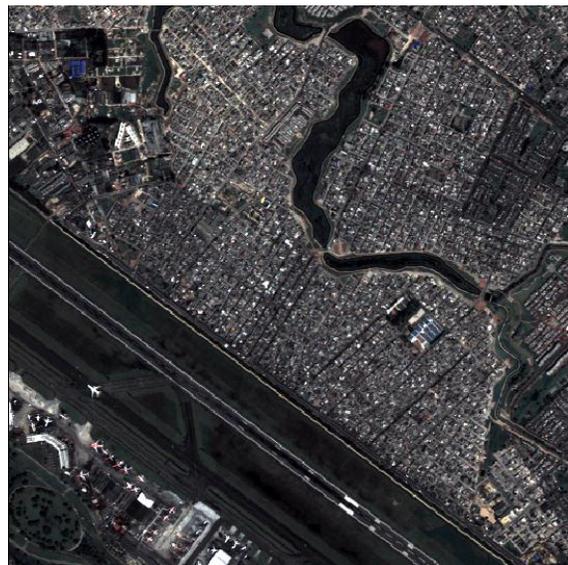


Fig.4 Método de Multiplicación

En la figura 5 se muestran cuatro recortes de los aviones que están sobre la pista del aeropuerto “El Dorado” donde se permite comparar la ganancia espacial de las imágenes fusionadas con respecto a las imágenes originales MULTI y PAN; además, se puede comparar visualmente la pérdida en la riqueza espectral de las imágenes fusionada respecto a la imagen MULTI.



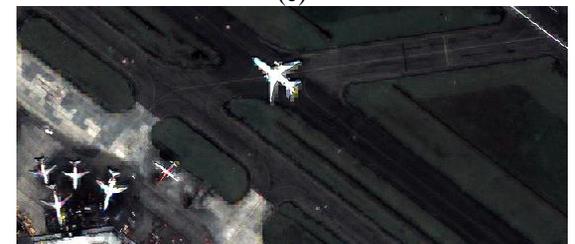
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.5. a. Sub-Imagen MULTI. b. Sub-Imagen PAN. c. Sub-imagen fusionada por la Transformada de Brovey. d. Sub-imagen fusionada por el Método de Multiplicación

En lo que concierne el CC (tabla I) los valores más altos de correlación espectral se obtienen con el método de Multiplicación, con una diferencia aproximada de 0,296, sin embargo, con respecto a la correlación espacial es mucho mejor los resultados obtenidos con la transformada de Brovey ya que la diferencia es significativa, aproximadamente entre los dos métodos es de 0,119, lo que indica que con base en este índice la riqueza espectral es mejor el método de

Multiplicación y espacialmente es mejor la Transformada Brovey. La diferencia espectral es marcada entre los dos métodos lo cual indica que es mejor espectralmente el método de Multiplicación y con respecto al análisis espacial de los dos métodos indica que son altos y muy cercanos, siendo mejor las imágenes fusionadas con la Transformada de Brovey.

En cuanto al índice ERGAS, RASE espectral (la tabla II) los mejores resultados se obtuvieron con la Transformada de Brovey, la nueva imagen fusionada con los índices ERGAS 12,2 y RASE del 50,8% y el índice Qu de 0,39, lo que indica en la correlación espectral la Transformada de Brovey es mucho mejor espectralmente con estos índices.

En cuanto a la evaluación de la calidad espacial (tabla III), los mejores resultados son obtenidos con la transformada de Brovey, teniendo el valor de RASE 44,07%, ERGAS espacial 11,66 y el índice Qu 0,71, Lo que indica que la Transformada de Brovey es mucho mejor espacialmente con estos índices.

Dependiendo del uso de las imágenes generadas usando la Transformada Brovey, y el método de Multiplicación y teniendo en cuenta la evaluación cuantitativa los mejores valores espectral y espacial se obtienen de manera general, con la Transformada de Brovey. Adicional y completando el análisis cuantitativo, la revisión visual de las imágenes fusionadas Figura 5 evidencian la ganancia espacial de la imagen fusionada con la Transformada de Brovey (imagen c), la cual degrada la información espectral de manera significativa lo contrario se obtiene con el segundo método de Multiplicación (imagen d).

VI. CONCLUSIONES

El análisis de resultado permite concluir que de manera cualitativa y cuantitativa los mejores resultados de la fusión se obtienen con la Transformada de Brovey donde se alcanza una ganancia espacial significativa, manteniendo en gran medida la calidad espectral, a pesar que los resultados visuales del método de Multiplicación son adecuados.

De otra parte, centrándose en la Transformada de Brovey, se pueden resaltar como ventaja de la implementación en Matlab, la facilidad de aplicación y el bajo coste computacional en imágenes de alta calidad espacial

En fin, los métodos propuestos se basan en operaciones algebraicas, las imágenes fusionadas se obtienen como resultado de estas operaciones entre las bandas de la imagen MULTI y la PAN, [6] [13-16] aplicable a las bandas de la imagen MULTI que intervienen en una composición RGB. Se normaliza cada una de las bandas de la composición RGB y se multiplica el resultado por la imagen PAN. Se añade el brillo o intensidad de la PAN a la composición de la MULTI [1]. De esta manera se logra el objetivo propuesto de obtener una imagen N-MULT fusionada que gana riqueza espacial y mantiene las características espectrales.

AGRADECIMIENTOS

La imagen Ikonos utilizada en esta investigación fue suministrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) Bogotá-Colombia.

REFERENCIAS

- [1] L. Wald. Data Fusion, Definition and Architectures: "Fusion of Image of Different Spatial Resolution," Paris: *Le Presses de l'École des Mines*, 2002.
- [2] W.A. Hallada and S. Cox, "Image sharpening for mixed spatial and spectral resolution satellite systems", *Proceedings of the 17th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, pp. 1023-1032, may 1983
- [3] L. Wald. "Quality of high resolution synthesized images: is there a simple criterion?," *Proceedings of the third conference "Fusion of Earth data: merging point measurements, raster maps and remotely sensed image"*, pp. 26-28, 2000, T Ranchin and L. Wald Editors, Nice: SEE/URISCA. pp. 99-105, 2000.
- [4] W. Zhou and A. C. Bovink. "A Universal Image Quality Index", *IEEE Signal Processing Letters*, 2002, vol. XX, No Y. 2002.
- [5] R. J. Medina, L. Joyanes, C. Pinilla. "Algoritmos Matemático para la fusión de imágenes satelitales," *V Simposio Internacional de Sistemas de Información e Ingeniería de Software en la Sociedad del Conocimiento* (Octubre de 2010).
- [6] C. Cliche, F. Bonn and P. Teillet, "Integration of the SPOT panchromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 51(3), pp. 311-316, 1985.
- [7] MATLAB®. (1998): *Image Processing Toolbox User's Guide Version 2. For Use with MATLAB®*.
- [8] A. D. Vaipoulos. Developing Matlab scripts for image analysis and quality assessment, Proc. SPIE 8181, *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications II*, 81810B, doi:10.1117/12.897806. 2011
- [9] S. R. Murray. Estadística, Segunda edición Mc Graw Hill. 1999.
- [10] L. Wald. Data Fusion, Definition and Architectures: "Fusion of Image of Different Spatial Resolution," Paris: *Le Presses de l'École des Mines*, 2002.
- [11] M. Lillo-Saavedra, C. Gonzalo, A. Arquero y E. Martinez. "Fusion of multispectral and panchromatic satellite sensor imagery based on tailored filtering in the Fourier domain," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 26, pp. 1263-1268, 2005.
- [12] R. Riyahi, C. Kleinn, H. Fuchs. "Comparison of different image fusion techniques for individual tree crown identification using quickbird image". *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information*. Vol. XXXVIII-1-4-7/W5., June 2-5 *ISPRS Hannover Workshop*, Germany. 2009
- [13] D. Pradines, "Improving SPOT image size and multispectral resolution", *Earth remote sensing using the Landsat and SPOT Systems, Proceedings SPIE Conference*, vol. 660, pp. 78-102, 1986.
- [14] J. Price, "Combining panchromatic and multispectral imagery from dual resolution satellite instruments", *Remote Sensing of Environment*, vol. 21, pp. 119-128, 1987.
- [15] H. Yésou, Y. Besnus and J. Rolet, "Extraction of spectral information from Landsat TM data and merger with SPOT panchromatic imagery", *ISPRS Journal of Photogrammetric and Remote Sensing*, vol. 48, pp. 23-36, 1993
- [16] Y. Zhang, "A new merging method and its spectral and spatial effects", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 20(10), pp. 2003-2014, 1999.