



Revista EDUCATECONCIENCIA.
Volumen 10, No. 11.
ISSN: 2007-6347
Abril - Junio 2016
Tepic, Nayarit. México
Pp. 58-72

Análisis de métodos de fusión de imágenes Landsat 8 sobre coberturas y uso del suelo en el municipio de Bahía de Banderas, Nayarit

Analysis of image fusion methods using Landsat 8 on land use and land cover in the municipality of Bahia de Banderas, Nayarit

Autores

Celia Teresa Navarro Jáuregui
Universidad Autónoma de Nayarit
Jauregui.teresa@gmail.com

Juan Pablo Rivera Caicedo
Universidad Autónoma de Nayarit
rom101415@gmail.com

Jushiro Carlos Adolfo Cepeda Morales
Universidad Autónoma de Nayarit
jushirocm@gmail.com

Análisis de métodos de fusión de imágenes Landsat 8 sobre coberturas y uso del suelo en el municipio de Bahía de Banderas, Nayarit

Analysis of image fusion methods using Landsat 8 on land use and land cover in the municipality of Bahia de Banderas, Nayarit

Celia Teresa Navarro Jáuregui
Universidad Autónoma de Nayarit
Jauregui.teresa@gmail.com

Juan Pablo Rivera Caicedo
Universidad Autónoma de Nayarit
rom101415@gmail.com

Jushiro Carlos Adolfo Cepeda Morales
Universidad Autónoma de Nayarit
jushirocm@gmail.com

Eduardo Meza Ramos
Universidad Autónoma de Nayarit
eduardomera@gmail.com

Resumen

El municipio de Bahía de Banderas, ha optado por invertir en el sector turístico como medio de desarrollo, en las últimas dos décadas ha tenido un intenso desarrollo turístico, por lo cual está experimentando un proceso de crecimiento urbano acelerado y desordenado; por esta razón es importante analizar los cambios de cobertura y uso del suelo por los que está pasando el municipio. Para ello, se debe, primeramente, identificar los tipos de cobertura y uso del suelo que tiene Bahía de Banderas, de modo que, para llevar a cabo esta actividad se utilizarán imágenes de satélite Landsat 8, sin embargo, dada la resolución que presentan estas imágenes, es necesario optimizar la calidad de la resolución espectral y espacial; lo que con lleva a utilizar métodos de fusión de imágenes, por lo cual en este trabajo se evaluaron tres métodos (color normalizado, componentes principales y Gram Schmidt), por medio de las métricas de calidad: índices ERGAS y el índice Q, con el fin de determinar el mejor método que facilite los procesos de clasificación de cobertura y uso del suelo en el municipio de Bahía de Banderas. Se encontró que el método de Gram Schmidt fue el que mostró mejores resultados tanto visualmente como espectralmente, por el

contrario de los otros dos métodos; por lo tanto, para trabajos posteriores, se utilizará la imagen resultante de este método de fusión.

Palabras clave: métodos de fusión de imágenes, Landsat, Bahía de Banderas

Abstract

The municipality of Bahía de Banderas, has opted to invest in the tourism sector as a way of development, in the last two decades has had an intense tourism development, so is undergoing a process of rapid urban growth and clutter; for this reason it is important to analyze the land use and land cover change by the municipality is happening. To do this, firstly, it's important identify the types of land use and land cover that has Bahía de Banderas, so that to carry out this activity satellite images Landsat 8 will be used, However, given the resolution that present these images, is necessary to optimise the quality of the spectral and space resolution, what with carries to use methods of fusion of images, by which in this work evaluated three methods (color normalized, principal component and Gram Schmidt), by means of the metric of quality: the ERGAS index and the index Q, with the end to determine the best method that facilitate the processes of classification of coverage and use of the floor in the municipality of Bahía de Banderas. It found that the Gram Schmidt which was showed better results spectrally both visually, in contrast to the other two methods, therefore for further work, it was decided to use the image resulting from this fusion method.

Key words: Image fusion methods, Landsat, Bahía de Banderas

Introducción

En diciembre de 1989, se decreta a Bahía de Banderas como municipio del estado de Nayarit; en los últimos años, este lugar de México se ha configurado como uno de los destinos de playa más atractivos, influye en esto, su vecindad con el municipio de Puerto Vallarta, centro turístico de fama internacional (Márquez y Sánchez 2007). El sector turístico, es considerado el motor de desarrollo del municipio, así lo refiere el Plan de Desarrollo Municipal de Bahía de Banderas, Nayarit 2014 – 2017, este señala que tanto a nivel estatal como municipal el turismo es un sector estratégico y con un gran potencial.

Bahía de Banderas, ha optado por invertir en el turismo como medio de desarrollo, está experimentando un proceso de crecimiento urbano acelerado y desordenado, de ello la importancia de analizar los cambios que ha sufrido la cobertura y uso del suelo en el municipio.

Para llevar a cabo este análisis es necesario conocer las coberturas y usos del suelo que se encuentran en el municipio; Por su parte el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) tiene productos (cartas de uso de suelo y vegetación) en los cuales identifica las clases de cobertura y usos del suelo, sin embargo, por la escala en la que se encuentran y el tamaño de la superficie de Bahía de Banderas, se requiere contar con insumos de mayor resolución espacial.

La utilización de imágenes digitales en aplicaciones cartográficas es cada día mayor, existe un amplio abanico de sistemas (sensores) que proporcionan diversos tipos de imágenes. Dichos sensores (y las imágenes proporcionadas por los mismos) son clasificados en función de su resolución espacial es decir, el tamaño del píxel sobre el terreno, lo que condiciona su escala cartográfica de representación y su resolución espectral (Delgado et. al., 2004; Amro et. al., 2011). Algunos de los sensores con mayor resolución espacial son SPOT, Landsat, IKONOS, QuickBird y OrbView; algunas con mayor resolución que otras, no obstante, es importante mencionar que no todas las imágenes son de libre acceso, por lo regular las imágenes con mayor resolución espacial tienen un costo elevado, ejemplo de ello son las imágenes SPOT, QuickBird. Uno de los sensores más usado para el estudio de las cubiertas terrestres por su accesibilidad es el satélite Landsat, este cuenta con datos desde 1972, a partir del 11 de febrero de 2013 se encuentran disponibles datos de Landsat 8 (Roy et. al., 2014), La configuración de las bandas de este satélite, permite por técnicas de fusión de imágenes mejorar la resolución espacial.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar tres métodos de fusión de imágenes, los cuales son: color normalizado (CN), componentes principales (CP) y Gram Schmidt (GS), por medio de las métricas de calidad: índices ERGAS y el índice Q y determinar el mejor

método que facilite los procesos de clasificación de cobertura y uso del suelo en el municipio de Bahía de Banderas.

Marco teórico

La fusión de imágenes es una técnica digital que pretende mejorar una imagen multiespectral (MS) y así potenciar su uso en diversas aplicaciones. Para ello se combinan los datos de una imagen pancromática (o una imagen de radar o de otro sensor no óptico) de alta resolución espacial con los de una imagen MS de alta resolución espectral (Medina,2010); por lo tanto, se aumenta la resolución espacial y al mismo tiempo se preserva la información espectral en la imagen MS. Convirtiéndose así, en una de las tareas más útiles y necesarias en aplicaciones de percepción remota, puesto que, el mantener la calidad de la información espectral es de vital importancia, para el análisis de firmas espectrales, tales como litología, análisis de vegetación, suelo, etc. (Caloca 2007).

Los métodos empleados en la fusión de imágenes son diversos, ya que existen desde los más directos basados en combinaciones algebraicas entre bandas, hasta los que incorporan la aplicación de la transformada de wavelets en su procedimiento. De acuerdo con Pohl y Van Genderen (1998) de manera general, las técnicas se pueden agrupar en dos clases, las técnicas relacionadas con color y con métodos numéricos/estadísticos.

La primera comprende la composición de color de tres canales de la imagen en el espacio de color RGB, así como las transformaciones de color más sofisticadas, por ejemplo, IHS y HSV. En la segunda, son aproximaciones estadísticas que son desarrolladas en el fundamento de “canales estadísticos” incluyendo correlación y filtros. Las técnicas de componentes principales y de regresión pertenecen a este grupo. En el caso de los métodos numéricos, estos siguen operaciones aritméticas tales como la diferencia de imágenes y relaciones, incluso añadiendo un canal a otras bandas de la imagen.

Metodología

Área de estudio

El presente estudio contempla el municipio de Bahía de Banderas, el cual se sitúa al sureste del estado de Nayarit; limita al norte, con el municipio de Compostela, al sur y al oeste con el Océano Pacífico y al este con el estado de Jalisco, tiene una superficie de 768 km².

Datos Satelitales

La imagen usada en el presente trabajo proviene del sensor Operational Land Imager (OLI) a bordo del satélite Landsat-8 tomada el día 3 de marzo de 2015. Las características de las imágenes de nivel 1 adquiridas por el sensor se muestran en la Tabla 1. Se construyó una imagen multiespectral con las bandas 1 al 7 y 9, y como imagen de alta resolución espacial se tomó la banda 8.

Tabla 1.

Principales características de los datos adquiridos por el sensor Operational Land Imager (OLI).

Resolución imágenes sensor OLI			
Espacial	15 m	30 m	100 m (Re muestreo 30 m)
Espectral (micrómetros)	B8(0.50-0.68)	B1(0.43 - 0.45)	B11(10.60 - 11.19)
		B2(0.45 - 0.51)	B12(11.50 - 12.51)
		B3(0.53 - 0.59)	
		B4(0.64 - 0.67)	
		B5(0.85 - 0.88)	
		B6(1.57 - 1.65)	
		B7(2.11 - 2.29)	
		B9(1.36 - 1.38)	
	Radiométrica	12 Bits	
Temporal:	16 días		

Fuente: Roy et. al., 2014

El esquema de pre-procesado de los datos se muestra en la figura 1, a continuación se detalla cada una de las etapas.



Figura 1. Esquema metodológico seguido para la evaluación de los métodos de fusión

Fuente: Elaboración propia.

Pre-procesado

Calibración radiométrica: El conversión de DN (por sus siglas en inglés digital number) a valores de radiancia en el techo de la atmósfera se realizó usando la siguiente ecuación:

$$L_{\lambda} = M_{\lambda}Q + A_{\lambda}$$

Dónde: L es el valor en radiancias de la banda λ ; M,A son constantes por la banda λ tomados de los metadatos de la imagen de Landsat y Q son las DN de la banda λ .

Corrección atmosférica: Para la corrección atmosférica de las imágenes se utilizó el método Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) el cual es un paquete computacional desarrollado por el Air Force Phillips Laboratory, Hanscom AFB and Spectral Sciences, Inc (SSI) (Adler-Golden et al., 1999). Este avanzado paquete incorpora el código de transferencia radiativo MODTRAN (MODerate resolution atmospheric TRANsmission), el cual busca eliminar los efectos de la absorción y dispersión, causados por las moléculas y partículas atmosféricas en suspensión, de la radiancia recibida por el sensor y convertir esa radiancia a valores de reflectividad de superficie.

Regiones de interés: Se seleccionaron cuatro regiones de interés (ROI), las cuales pertenecen a la cobertura y uso del suelo que existe en la zona de estudio, estas fueron:

selva, cuerpos de agua, áreas urbanas y agrícolas; con el fin de comparar y evaluar el perfil espectral de cada ROI de la imagen original con respecto a las imágenes fusionadas.

Métodos de Fusión

De los tres métodos de fusión de imágenes en lo que se centra este artículo, el primero corresponde a la clasificación de color y los demás a la clasificación catalogada como métodos numéricos/estadísticos.

Color Normalizado: Según Vrabel (2002), este método es una extensión del algoritmo de Brovey, el proceso de fusión comienza con la agrupación de las bandas espectrales en segmentos definidos por el rango espectral de la imagen pancromática; los segmentos correspondientes a la banda son procesados juntos de la siguiente manera: cada banda de entrada es multiplicada por la banda de alta resolución y en seguida es normalizada, para llevar a cabo ese proceso se divide por la suma de los segmentos de las bandas de entrada;

Sin embargo, Pinho, Rennó y Kux (2005), considera que existe una única restricción para la aplicación de esta fusión: el intervalo espectral de las bandas de entrada, debe ser el mismo que el de las bandas de sharpening, es decir, bandas de alta resolución espacial que proporcionen datos de alta frecuencia para el proceso de fusión.

Componentes principales: De acuerdo a Pohl y Van Genderen (1998), es una técnica estadística que transforma conjuntos de datos multivariantes de variables correlacionadas en un conjunto de datos de nuevas combinaciones lineales no correlacionadas de las variables originales; cuyo objetivo principal es determinar nuevos factores (componentes principales) que expliquen la mayor cantidad de la variabilidad existente en los datos, utilizando para ello, el menor número de factores posible (Ruíz, 2013).

Según Cánovas y Alonso (2014), este método consiste en utilizar como fuente de datos las bandas multiespectrales del sensor. La banda pancromática de alta resolución se ajusta para tener la misma media y varianza que el primer componente obtenido, una vez ajustada se reemplaza al primer componente principal y se realiza la transformación inversa

de los datos; señalan que la justificación para sustituir el primer componente ajustado es que la imagen pancromática ofrece información muy semejante al primer componente, puesto que este, contiene la información que es común al conjunto de bandas multiespectrales utilizadas como entrada del procedimiento, mientras que la información espectral individual de cada una de las bandas queda repartida en el resto de componentes, de los que este tipo de fusión no hace uso.

Gram-Schmidt: Este método mejora la resolución espacial de las bandas multiespectrales mediante un proceso similar al de CP (Laben y Brower 2000; Cánovas y Alonso 2014); la imagen pancromática se combina con el resto de bandas de menor resolución espacial mediante una transformación matemática de los datos originales; los pasos principales se describen en cinco puntos, los cuales son:

1. Una baja resolución espacial de la imagen pancromática es simulada.
2. Se realiza la transformación de GS en la resolución espacial baja de la imagen pancromática simulada con la pluralidad de imágenes de banda espectral de baja resolución espacial. La imagen pancromática simulada de baja resolución espacial se emplea como la primera banda en la transformación de GS.
3. Las estadísticas de la imagen pancromática con resolución espacial superior se ajustan para que coincida con las estadísticas de la banda de la primera transformación resultantes de la transformación de GS para así producir una nueva imagen pancromática con mayor resolución espacial.
4. Esta nueva imagen es substituida por la banda de la primera transformación resultante de la transformación de GS para producir un nuevo conjunto de bandas transformadas.
5. La transformación inversa de GS se realiza en el nuevo conjunto de transformación para producir la imagen de mayor resolución espacial MS.

Criterios de Calidad

Existen en la literatura diversas métricas que permiten evaluar la preservación espectral de las imágenes fusionadas (Klonus, 2008; Daza et. al., 2013). En el presente trabajo se evalúa el índice ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse) (Wald, 2000) y el índice Q (Wang & Bovik, 2002).

Índice ERGAS: Este índice cuantifica la calidad espectral de las imágenes fusionadas, en el que valores bajos indican alta calidad del método de fusión. Se define por la siguiente expresión:

$$ERGAS_{espectral} = 100 \frac{HSR}{LSP} \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left(\frac{rmse_m^2}{\mu_m^2} \right)}$$

Dónde: HSR es el tamaño del pixel de la imagen de mayor resolución espacial; LSP el tamaño del pixel de la imagen de baja resolución espacial; M es el número de bandas de la imagen a fusionar; μ_m es el valor media de la reflectividad de la banda m; y rmse es el valor del error medio cuadrático entre la banda m de la imagen multiespectral y la banda fusionada.

Índice Q: Este índice evalúa cualquier distorsión como una combinación de tres factores: pérdida de correlación, distorsión de luminancia y contraste de distorsión. El rango de Q es de -1 a 1, donde el valor 1 indica el mejor resultado. Está definido por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{4\sigma_{xy}\bar{x}\bar{y}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)[(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2]}$$

Donde; x es la imagen multiespectral; y es la imagen fusionada.

Resultados

Evaluación de los métodos de Fusión de imágenes

La evaluación de la calidad espacial de las imágenes fusionadas, se realizó mediante un análisis visual. La figura 2 muestra los resultados obtenidos por los tres métodos de fusión utilizados, donde se aprecia las coberturas y usos del suelo, que se encuentran en el municipio de Bahía de Banderas.

Visualmente, en los tres métodos se aprecia claramente el incremento en resolución, no obstante, en cuestión de color, los métodos de CN y CP muestran resultados muy

contrastantes con respecto a la imagen original, dado que en el primer método presenta un contraste desaturado de color, por el contrario de CP, que muestra una intensa saturación de colores; sin embargo, el método de GS mantiene una saturación de color acorde a la imagen original, de modo que, este método visualmente es el que obtiene el mejor resultado.



a) Imagen MS original



b) Método CN



c) Método CP



d) Método GS

Figura 2.
Resultado

s obtenidos por los tres métodos de fusión evaluados.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro parte, para evaluar la calidad espectral de los resultados obtenidos con los diferentes métodos de fusión, se seleccionaron cuatro ROI, correspondientes a las clases de cobertura y uso del suelo del área de estudio (selva, cuerpos de agua, áreas urbanas y agrícolas). La figura 3 muestra los resultados del perfil espectral de las ROI seleccionadas tanto de la imagen MS original como el de las imágenes fusionadas de cada método

utilizado. El método GS, en comparación con los demás, muestra mejores resultados en lo que corresponde a las ROI de cuerpos de agua, área agrícola y área urbana, dado que presenta valores muy similares con respecto a los que tiene la imagen original, sin embargo, en la ROI de selva, muestra una brecha más retirada a diferencia del método de CP; a excepción de este caso, los demás métodos muestran valores muy dispersos en comparación con los datos originales. Cabe mencionar que una de las limitantes que tiene el método de CN, es que solo procesa las bandas que estén contenidas en el ancho espectral de la imagen de alta resolución, en el caso de Landsat la imagen pancromática abarca el rango de 0.50 – 0.68, es por eso que este método solo se realizó en las bandas 3 y 4 que corresponden a las longitudes de onda 0.53 – 0.59 y 0.64 – 0.67 respectivamente. Por esta razón, únicamente se muestra el resultado de las bandas donde el algoritmo hizo el proceso de fusión.

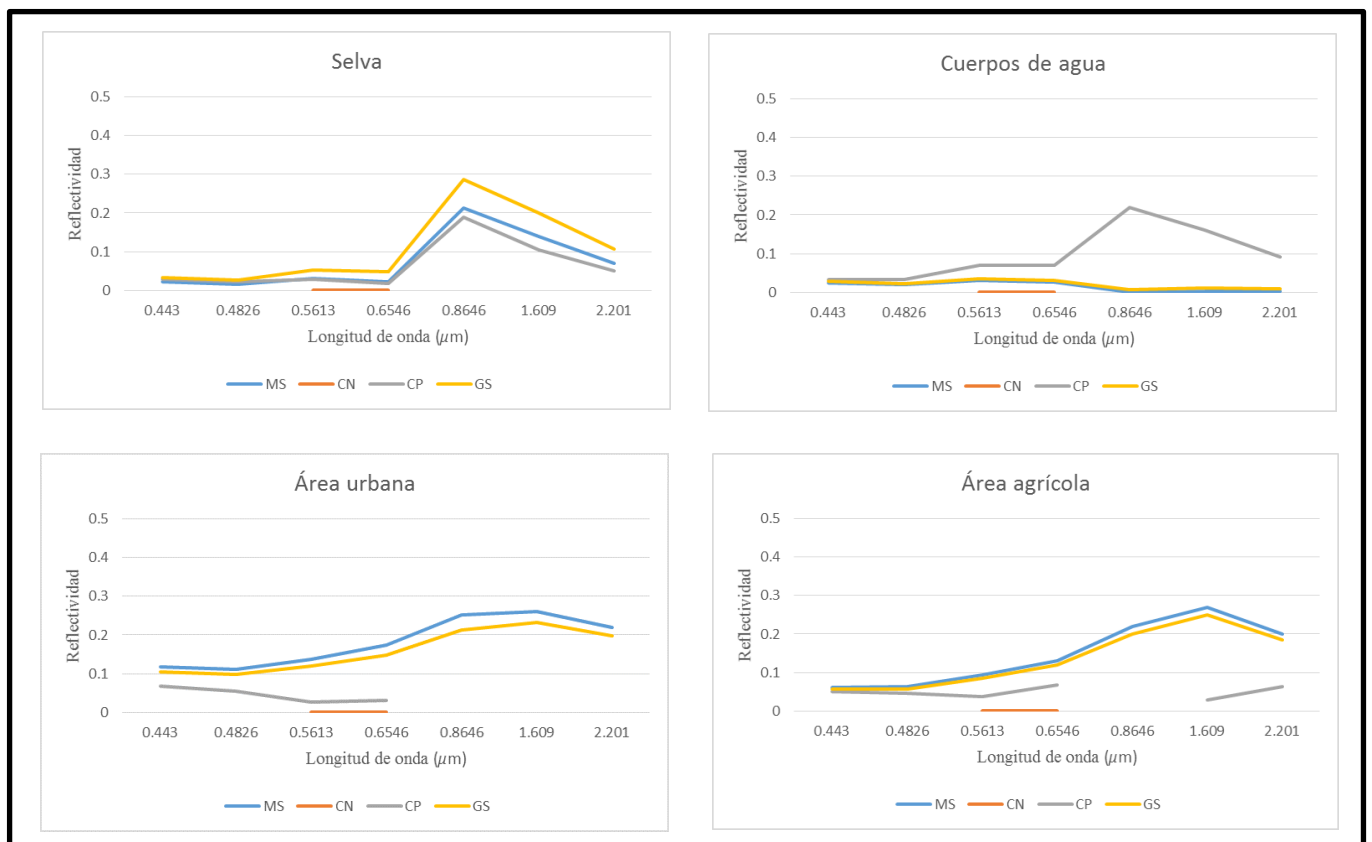


Figura 3. Perfil espectral de cada ROI en la imagen MS original y las imágenes fusionadas.

Fuente: Elaboración propia.

Índices de calidad de fusión de imágenes

Para la evaluación de calidad se utilizaron los índices ERGAS y Q; en ambos índices, el mejor resultado lo obtuvo el método de GS, con un valor de 4.30 en el índice de ERGAS y 0.60 en el índice de Q. Además, se hizo un análisis por bandas para determinar la mejor calidad en cada una de ellas; en el método de GS, la mejor calidad la presenta la banda 5, con un valor de 1.42 para índice ERGAS y 0.70 para índice Q; en el caso de CP, fue la banda 1, teniendo un índice de ERGAS de 4.73 y 0.43 en índice Q; por último, en CN, los mejores resultados se obtuvieron en la banda 3 con un valor de 19.74, para el índice ERGAS, sin embargo, los datos para el índice Q, muestran que este método no es óptimo para la imágenes Landsat. En la tabla 2, se aprecian los resultados obtenidos de la evaluación de ambos índices de manera general y para cada banda del satélite.

Tabla 2.

Resultados de los índices de evaluación de la calidad de fusión de las imágenes.

Bandas	ERGAS			Q		
	Métodos					
	CN	CP	GS	CN	CP	GS
B1	1515.47	4.73	3.55	0.00	0.43	0.58
B2	2869.86	11.18	6.67	0.00	0.30	0.56
B3	19.74	8.42	3.22	0.00	-0.14	0.57
B4	20.09	12.12	4.91	0.00	-0.01	0.54
B5	163.55	9.82	1.42	0.00	-0.06	0.70
B6	275.58	9.67	2.17	0.00	-0.25	0.62
B7	398.35	10.13	2.98	0.00	-0.11	0.61
General	1385.17	11.11	4.30	0.00	0.03	0.60

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

En los tres métodos de fusión, es visiblemente notable el incremento en la resolución espacial, consiguiendo así, una mayor apreciación de las formas, texturas de lo que se encuentra en el área de estudio, sin embargo, en cuestión de color, los métodos de

CN y CP, muestran una gama de colores que no son similares a la imagen original causando con esto que sea difícil de identificar, en este caso la cobertura y uso del suelo que se encuentra en el área de estudio. Por otra parte, de manera espectral, en el caso de las ROI que se seleccionaron para comparar el perfil espectral que reflejan las imágenes fusionadas con respecto a la imagen original, de manera general, el método de GS, obtuvo los valores más similares a la imagen original, además obtuvo los mejores valores de ambos índices de evaluación de calidad de la imagen; Por otro parte, los métodos de CN y CP no obtuvieron buenos resultados de tanto de manera visual como espectral, el hecho de que CN solo procese las bandas que estén contenidas en el ancho espectral de la imagen de alta resolución hace que no considere a todas las bandas MS y en consecuencia presenta malos resultados; los datos para el índice Q, indican que este método no es óptimo, por lo menos para la imagen Landsat que se utilizó en este trabajo, de modo que, la imagen resultante del método de GS, fue la que obtuvo mejores resultados tanto visualmente como espectralmente, por consiguiente, es la imagen que se elige para en trabajos posteriores identificar la cobertura y uso del suelo en el municipio de Bahía de Banderas.

Referencias

- Adler-Golden, S. M., Matthew, M. W., Bernstein, L. S., Levine, R. Y., Berk, A., Richtsmeier, S. C., Acharya, P. K., Anderson, G. P., Felde, G., Gardner, J., Hike, M., Jeong, L. S., Pukall, B., Mello, J., Ratkowski, A., and Burke, H. (1999). Atmospheric correction for short- wave spectral imagery based on MODTRAN4. *SPIE Proc. Imaging Spectrometry*, 3753:61-69.
- Amro, I., Mateos, J., Vega, M., Molina, R., & Katsaggelos, A. (2011). A survey of classical methods and new trends in pansharpening of multispectral images. *EURASIP Journal On Advances In Signal Processing*, 79. <http://dx.doi.org/10.1186/1687-6180-2011-79>
- Caloca, L.A. (2007). *Técnicas avanzadas de fusión de imágenes.*(tesis doctoral). Centro de Investigación en Geografía y Geomática “Ing. Jorge L. Tamayo” A.C. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cánovas, G. F. y Alonso, S. F. (2014). Comparación de técnicas de fusión en imágenes de alta resolución espacial, *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p. 144-162. ISSN: 1578-5157
- Daza, R. J. M., Aguilar, L. J., Ruiz, C. P., Ardila, O., y Pineda, F. (2013). Evaluación de la fusión de imágenes satelitales usando la Transformada rápida de wavelet haar y counturlet. In *Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, Cancun, Mexico. pp. 1-10

- Delgado, J. S. A. y Carvalho, J. (2004). Fusión de Imágenes SPOT-P Y Landsat-™ mediante el Método de Simulación Geoestadística Estocástica, In: VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía TOPCART, Madrid, 19-22 Octubre.
- Klonus, S. (2008). Comparison of pansharpening algorithms for combining radar and multispectral data. In Proceedings of XXI. ISPRS Congress, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
- Laben, C. A., y Brower, B. V. (2000). Process for enhancing the Spatial Resolution of Multispectral Imagery using pan-sharpening. United States Patent 6.011.875. Eastman Kodak Company.
- Márquez, A. y Sánchez, A. (2007). Turismo y ambiente: la percepción de los turistas nacionales en Bahía de Banderas, Nayarit, México. Investigaciones Geográficas. Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM. México, DF., (64), 134–152, <http://dx.doi.org/10.14350/riig.17970>.
- Medina, R., Joyanes, L. y Pinilla, C. (2010). Evaluación de la transformada de wavelet para fusión de imágenes satelitales. In Conference Record of Eighth Latin American, and Caribbean Conference for Engineering, and Technology: Innovation, and Development for the Americas: Engineering, Education, Research, and Development. Arequipa, Perú.
- Pinho, CMD. Rennó, CD, Kux HJH. (2005) Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; Goiânia, Brasil. p. 4225-4232.
- Plan Municipal de Desarrollo de Bahía de Banderas (2014-2017). Retrieved Octubre, 2015, from http://www.seplan.gob.mx/des/pdms/pdm_bdb.pdf.
- Pohl, C. y Van Genderen, J.L. (1998). Multisensor image fusion in remote sensing: Concepts, methods and applications. International Journal of Remote Sensing, 19(5), pp. 823-854.
- Roy, D.P., Wulder, M.A., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., Allen, R.G., Anderson, M.C., Helder, D.L., Irons, J.R., Johnson, D.M., Kennedy, R., Scambos, T.A., Schaaf, C.B., Schott, J.R., Sheng, Y., Vermote, E.F., Belward, A.S., Bindaschadler, R., Cohen, W.B., Gao, F., Hipple, J.D., Hostert, P., Huntington, J., Justice, C.O., Kilic, A., Kovalskyy, V., Lee, Z.P., Lyburner, L., Masek, J.G., McCorkel, J., Shuai, Y., Trezza, R., Vogelmann, J.E., Wynne, R.H., and Zhu, Z., 2014, Landsat-8—science and product vision for terrestrial global change research: Remote Sensing of Environment, v. 145, p. 154-172.
- Ruiz, F. L. Á. (2013). Métodos básicos de fusión de imágenes. <http://hdl.handle.net/10251/30096>.
- Vrabel, J., Doraiswamy, P, McMurtrey, J. y Stern, A. (2002). Demonstration of the Accuracy of Improved Resolution Hyperspectral Imagery. In: SPIE Symposium Proceedings, 4725, pp. 556–567.
- Wald, L. (2000) Quality of high resolution synthesized images: is there a simple criterion? In Proceedings of the International Conference on Data Fusion in Remote Sensing, Sophia Antipolis, France, pp. 99–105;
- Wang, Z., y Bovik, A. C. (2002). A universal image quality index. IEEE signal processing letters, 9(3), 81-84.