

FUSIÓN DE IMÁGENES SATELITALES MEDIANTE WAVELETS PARA LA MAXIMIZACIÓN DE LA GANANCIA ESPACIAL Y ESPECTRAL

Christian Osorio Cabrera

Universidad Distrital Francisco José Caldas, Bogotá D.C., Colombia, ing.christianosorio@gmail.com

Danilo García Hansen

Universidad Distrital Francisco José Caldas, Bogotá D.C., Colombia, logicafago@gmail.com

Darío Segura Torres

Universidad Distrital Francisco José Caldas, Bogotá D.C., Colombia, togo3@hotmail.com

Rubén Javier Medina Daza

Universidad Distrital Francisco José Caldas, Bogotá D.C., Colombia, rmedina@udistrital.edu.co

Abstract

This article presents the procedure to the fusion of multispectral Ikonos satellite image with its associated panchromatic image. Likewise presents the results of applying a set of mathematical algorithms in which these images were merged in various processing programs both specialized in handling this type of information management and advanced algorithms.

In the same way, an analysis is performed of the results from the standpoint of quantity and quality. The first refers to the analysis of gains and losses single-band and average for the different mergers in the present work. Qualitative analysis refers to the visual evaluation of the products obtained in the fusion process.

For fusions have been used traditional methods such as Brovey transform, multiplication, RGB2IHS and implementation of major components. One of the main objectives is to establish a measurable comparison between these methods and using different wavelet transforms.

Keywords: Satellite Images, Image Fusion, RGB to IHS transformation, Brovey Transform, WaveletTransform.

Resumen

En este artículo se presenta el procedimiento realizado para la fusión de una imagen satelital Ikonos multiespectral con su imagen pancromática asociada. De igual forma expone los resultados de la aplicación de un conjunto de algoritmos matemáticos con los cuales se fusionaron estas imágenes, en diferentes programas de procesamiento tanto especializados en el manejo de este tipo de información así como de manejo de algoritmos avanzados.

De la misma forma, se realiza un análisis de los resultados desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo. El primero hace referencia al análisis de las ganancias y pérdidas unibanda y promedio, para las diferentes fusiones realizadas en el presente trabajo. El análisis cualitativo hace referencia a la evaluación visual de los productos obtenidos en el proceso de fusión.

Para las fusiones se han utilizado métodos tradicionales como lo son la transformada de Brovey, multiplicación, RGB2IHS y la aplicación de componentes principales. Uno de los principales objetivos es poder establecer una comparación medible entre estos métodos y los que usan las diferentes transformaciones de Wavelet.

Palabras Clave: Imágenes Satelitales, Fusión de Imágenes, Transformación RGB a IHS, Transformada de Brovey, Transformada de Wavelet.

1. INTRODUCCIÓN

La fusión de imágenes es un procedimiento que cada día se hace más importante, dadas las condiciones actuales de adquisición de datos satelitales, imágenes con resoluciones espaciales altas pero baja resolución espectral e imágenes con buena resolución espectral y baja resolución espacial, sin embargo las técnicas actuales de fusión solo permiten orientar la ganancia hacia algunas de las dos resoluciones planteadas.

Es necesario contar con técnicas que permitan que la fusión logre optimizar tanto la resolución espacial como la espectral, para esto se hace necesario evaluar funciones alternativas como las transformadas de wavelet y sus métodos de implementación para plantear alternativas de mejora a dichos procedimientos. Adicionalmente como el producto resultante depende mucho del uso que se le vaya a dar, tener un flujo claro de trabajo ayudara a quien necesite realizar un trabajo de fusión, disminuyendo tiempos en el procesamiento.

2. OBJETIVOS

1. Realizar el análisis cuantitativo de las diferentes técnicas de fusión implementadas en aplicaciones comerciales y la técnica de la transformada wavelet con todas sus variantes.
2. Realizar el análisis cualitativo de las diferentes técnicas de fusión implementadas en aplicaciones comerciales y la técnica de la transformada wavelet con todas sus variantes.
3. Obtener un método que agilice la obtención de imágenes por medio de la fusión de las diferentes variantes de wavelet y su análisis cuantitativo.
4. Determinar si la transformada wavelet presenta ventajas sobre otras técnicas de fusión al comparar los resultados que se obtienen.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. TELEDETECCIÓN

Según [1], la teledetección puede ser definida como todo el conjunto de procesos que permite capturar una imagen de la superficie terrestre, así como el posterior tratamiento que se le dé en el contexto de una determinada aplicación. En otras palabras, reúne el conjunto de técnicas que posibilitan adquirir imágenes desde sensores instalados en plataformas espaciales.

Existen varias definiciones para una imagen, una de ellas es: “Es posible definir una imagen digital como la caracterización numérica de la distribución espacial de la radiación electromagnética que proviene de una escena. El proceso de convertir una escena en una imagen es por medio de la medida de la radiación que emite cada elemento de resolución de una rejilla virtual que sobrepone a la escena” [2].

Por otro lado [3] la define como: “Una imagen $f(x,y)$ que se ha discretizado tanto en las coordenadas espaciales como en brillo; puede considerarse como una matriz cuyos índices de filas y columnas identifican un punto de la

imagen y del valor correspondiente elemento de la matriz indica el nivel de gris de ese punto. Los elementos de una distribución digital de este tipo se denominan elementos de la imagen, o más comúnmente llamados píxeles”.

En el contexto de las imágenes satelitales, una banda hace referencia a un arreglo rectangular de números enteros positivos discretizados que pueden tomar valores enteros entre 0 y 2^n-1 , donde n representa la codificación en bits o resolución radiométrica de la imagen por tratar [2].

3.2. IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS

Existe una relación entre los diferentes tipos de resolución. Habitualmente, a mayor resolución espacial, se espera una resolución radiométrica alta (mayor a 8bits), se tiene una menor resolución temporal y a su vez una menor resolución espectral.

Cuando se habla de imágenes de alta resolución de forma general, suele asociarse a la espacial, las cuales tienen un manejo algo complicado en el ámbito de la transmisión de los datos. El aumento de cualquiera de las otras resoluciones incrementa el volumen de datos que debe ser transmitido, así mismo su procesamiento.

3.3. FUSIÓN DE IMÁGENES

La fusión de imágenes puede definirse como “la combinación lógica de dos o más imágenes diferentes para obtener una imagen nueva, usando un conjunto de algoritmos determinados” [4].

Otra definición es “la combinación sinérgica de información proporcionada por varios sensores o por el mismo sensor en diferentes escenarios (espaciales, espectrales y temporales)” [5].

Uno de los objetivos de la fusión de imágenes es resaltar características de una imagen, usando las fortalezas de otra. Por ende, las entradas del proceso son imágenes de diferentes resoluciones, usualmente espacial y espectral.

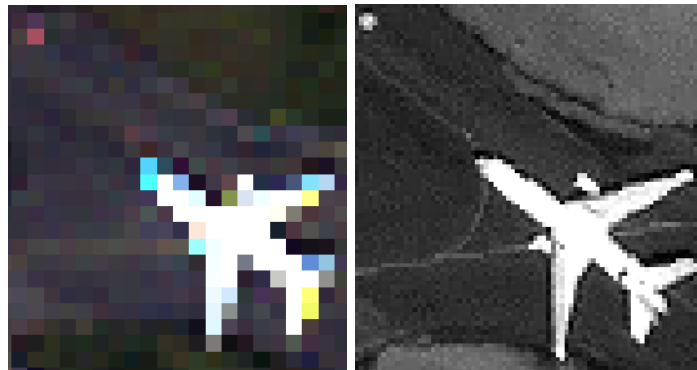


Imagen 1: Imagen Multiespectral (izquierda) y Pancromática (derecha)

Diferentes métodos de fusión de imágenes están implementados en varios software comerciales de procesamiento digital de imágenes. Todos estos métodos que no implementan wavelet son conocidos como convencionales. Estos algoritmos son los más usados y reconocidos por la comunidad internacional, lo que no significa que sean los mejores o que no se puedan mejorar. Estos son la Transformada de Brovey, Análisis de Componentes Principales y la Transformación IHS.

4. PROCESO DE FUSIÓN EMPLEANDO LA TRANSFORMADA WAVELET

El proceso de fusión entre dos imágenes, una de riqueza espectral y otra de riqueza espacial, empleando la transformada wavelet, requiere los siguientes pasos:

1. Transformación de la imagen de riqueza espectral a sus componentes IHS.
2. Aplicación de la transformada wavelet a la componente de intensidad obteniendo una matriz M_i .
3. Aplicación de la transformada wavelet a la imagen de riqueza espacial obteniendo una matriz M_p .
4. Reemplazar los coeficientes de aproximación de la imagen pancromática (en M_p) con los coeficientes de aproximación de la imagen de riqueza espectral (en M_i), obteniendo una matriz M_r
5. Realizar la transformada wavelet inversa a M_r .

5. CORRELACIÓN ENTRE IMÁGENES COMO MEDIDA CUANTITATIVA DE COMPARACIÓN

La correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables aleatorias. Así es como se puede determinar que tanto se parece una variable a la otra. Para el caso de las imágenes, se quiere determinar, valor a valor, que tan parecidas son las dos imágenes. Esto se hace con cada uno de los píxeles presentes en cada una de las bandas.

Tiene grandes usos en el análisis multispectral, a la hora de determinar con las bandas, cual puede ser una buena combinación evitando que haya redundancia de datos, o en el proceso de fusión, poder determinar qué tan parecidas son la imagen original y la imagen fusionada desde lo espectral y lo espacial.

También tiene usos en la automatización de procesos de “matching” en proyectos de fotogrametría, en donde por correlación se determina cual pixel en una imagen corresponde en otra imagen, y así en zonas de traslapo lograr estereoscopia y por correlación extraer modelos digitales de elevación.

6. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Para el experimento se elige una imagen pancromática de 2048 x 2048, perteneciente a una zona de la ciudad de Bogotá, y su correspondiente imagen con riqueza espectral, que es reescalada para obtener otra imagen de 2048 x 2048. De esta manera las dos imágenes que se poseen tienen las mismas dimensiones, pero una con riqueza espacial y otra con riqueza espectral.

Para las fusiones empleando las transformadas de Brovey, componentes principales e IHS se emplea un software comercial y las imágenes resultantes, una por cada técnica, se les calcula la correlación.

En la aplicación de la transformada de wavelet, se realiza la fusión wavelet con tres técnicas diferentes: Discrete Meyer, Haar y Symlets, y a cada una de ellas se aplica la transformación desde el nivel 1 hasta el nivel 5. Esto produce 15 imágenes resultantes para analizar.

Para cada una de las técnicas y cada uno de los niveles se también se emplean 3 procesos adicionales entre los pasos 3 y 4 de la fusión, estos procesos son:

- Promediar los elementos de la matriz de coeficientes de aproximación de las matrices M_p y M_i obteniendo una nueva matriz y esta es la que se fusiona en el paso cuatro en lugar de emplear los coeficientes de aproximación de M_i directamente.
- Tomar los elementos mayores entre la matriz de coeficientes de aproximación de las matrices M_p y M_i obteniendo una nueva matriz y esta es la que se fusiona en el paso cuatro en lugar de emplear los coeficientes de aproximación de M_i directamente.
- Tomar los elementos menores entre la matriz de coeficientes de aproximación de las matrices M_p y M_i obteniendo una nueva matriz y esta es la que se fusiona en el paso cuatro en lugar de emplear los coeficientes de aproximación de M_i directamente.

Cada uno de estos procesos genera 15 imágenes nuevas, en total se analizan 45 imágenes cada una de ellas empleando la transformada de wavelet con diferentes técnicas, diferentes niveles y diferentes pre procesamientos.

Debido a la cantidad de imágenes a procesar y sobre las cuales se pretende calcular la correlación es necesario automatizar el proceso, para lo cual se emplea MatLab, creando una función que esté en capacidad de fusionar dos imágenes y entregar la imagen resultante y la correlación de esta con las originales, reduciendo el tiempo de proceso para el experimento.

7. ANALISIS Y RESULTADOS

7.1. ANÁLISIS CUALITATIVO

A continuación se presentan los resultados de la aplicación de las diferentes fusiones para las imágenes presentadas anteriormente. En este análisis cualitativo se tuvieron dos criterios principales para emitir un juicio de valor sobre la información resultante. Estos están basados en la calidad espacial de la fusión y el color resultante con respecto a la imagen original. Para las fusiones por métodos tradicionales se obtuvieron en total 12 muestras en las cuales para un mismo método, se usaron diferentes técnicas de muestreo. En la Imagen 2, se muestran las imágenes que visualmente tuvieron una mejor respuesta.

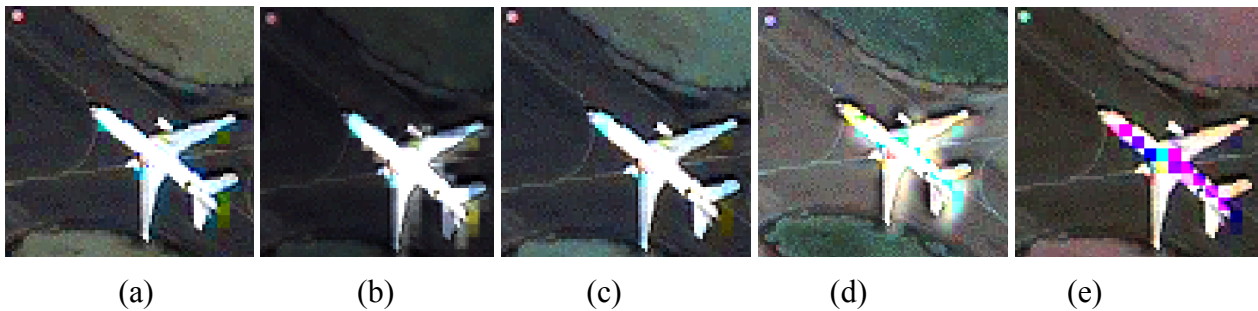


Imagen 2: Imágenes fusionadas

En la imagen (a) se tiene la fusión haciendo uso del análisis de componentes principales, con la técnica de remuestreo interpolación bilineal. En esta se observa una buena definición del avión presente en la imagen, más allá de los cuadros verdes, los cuales al venir de la imagen original a color, no fue posible eliminarlos. En cuanto al contorno, se ve una gran variación en el color de los pastos, el asfalto conserva su color relativamente bien.

La imagen (b), se obtuvo mediante el método de multiplicación, con la técnica de remuestreo interpolación bilineal. Aquí los bordes del avión se encuentran rodeados por una especie de “mascara” blanca, la cual en algunas partes no permite tener los bordes bien definidos. Se presenta un mayor contraste entre los colores, al tener el avión muy brillante y su contorno más oscuro. Los colores del asfalto y pastos se ven mucho más opacos,

indicio de que predominó el nivel digital de la imagen pancromática sobre el de la multiespectral. El ideal es tener riqueza espacial de la imagen pancromática, sin sacrificar la riqueza espectral de la otra imagen. Sin embargo son los colores que mas se acercan a los capturados por la imagen multiespectral.

En la (c) se observa la imagen que mejor resultado proporcionó desde el punto de vista de la percepción visual de la ganancia espacial, al observar la gran definición del avión. Esta imagen es la obtenida por medio de la transformada de Brovey, con la interpolación bilineal. Aquí al igual que la primera, si bien hay diferencias de color, se mantiene la constante de tener colores bastante alejados de los colores de la imagen original.

Con excepción de las anteriores, esta si bien se presentó como método tradicional, no lo es en el estricto sentido de lo tradicional, ya que es una fusión basada en la transformada de Fourier, conocida como Método de Ehlers. La imagen fusionada con este método es la (d), en la cual se notan bastantes diferencias con respecto a lo expuesto hasta aquí, debido al contraste de la imagen, su brillo y la definición de los objetos. Se ve de forma particular una parte de la zona verde, que en las otras imágenes ha sido pasto, aquí hace parte del asfalto. Se observa de forma notable el brillo del avión y la estela alrededor con lo cual pierde definición el objeto.

Por último, la imagen (e), fusionada con la transformación IHS, es tal vez la que dio los resultados mas modestos. Es claro como los colores, alejados completamente de la imagen original, así como los tonos lilas y violetas que se marcan sobre el avión.

Todas las imágenes hasta aquí fueron procesadas en el software ERDAS Imagine 2010, por lo que no fue posible conocer en detalle algunos de los algoritmos empleados a la hora de hacer las fusiones. Es importante aclarar que las imágenes no sufrieron ningún tipo de realce o tratamiento previo.

A continuación se presentan los resultados obtenidos con las fusiones usando diferentes transformadas de Wavelet, con algunos procesos adicionales. La Imagen 3 muestra los resultados más relevantes de estos procesos.

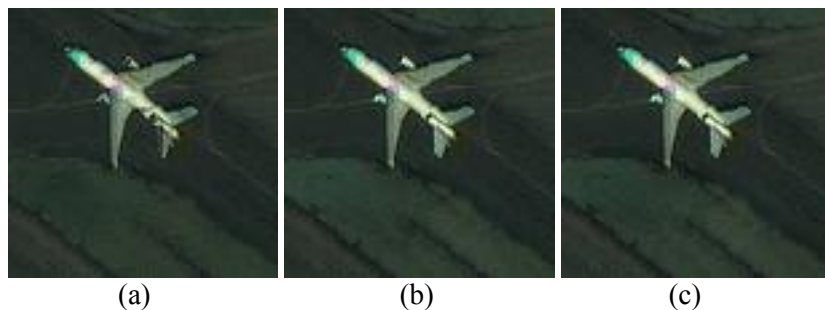


Imagen 3: Imágenes fusionadas con transformación de Wavelet

Estas imágenes fusionadas tienen procesos adicionales para intentar mejorar los resultados. A diferencia de las imágenes tratadas por métodos tradicionales, estas se ven de forma general de mucha más calidad espacial. Los procesos adicionales que se aplicaron consistieron en mejorar los índices de aproximación y los índices direccionales usados en las transformadas de wavelet. Al tener un conjunto de índices en un arreglo, y los nuevos índices generados al combinar la imagen pancromática y la imagen de *value*, obtenida de la transformada RGB2HSV, se aplican funciones para seleccionar el máximo, mínimo o el valor promedio en los dos arreglos. Con esto se obtiene para algunos de ellos, mejoras visuales significativas en cuanto al detalle ganado por la imagen multiespectral, mas no en el color, ya que de forma general, las imágenes quedan con un color verdoso, y unas manchas extrañas sobre el avión. Estas serian perfectas para trabajo de restitución mas no mucho para el procesamiento mediante análisis del espectro.

Las imágenes presentadas anteriormente, corresponden a las fusionadas usando las siguientes transformadas (a) Haar, (b) Symlet, (c) Meyer, todas llevadas hasta el nivel 5 de descomposición, usando rutinas en MatLab 2010.

De forma general se ven los resultados mas deficientes en el proceso adicional de MAX, en donde solo se obtiene una definición buena en el nivel 5, y los otros niveles son inutilizables. Así mismo el mejor proceso en todos los grupos fue el de MIN, en donde se elimina toda segmentación de los niveles digitales y se obtienen muy buenos resultados desde el primer nivel. En partes del avión como la cola se ve la diferencia en el valor de los niveles digitales mas no en la forma del objeto.

7.2. ANÁLISIS CUANTITATIVO

Para el análisis cuantitativo se realizó una comparación de las correlaciones de cada una de las bandas originales y de las obtenidas en el proceso de fusión, tanto entre multispectrales así como con la pancromática. Adicionalmente se realizó un análisis de ganancia a partir de las correlaciones y las ganancias promedio para las imágenes completas.

Como se mencionó anteriormente para este análisis se genera una matriz de correlación entre todas las imágenes resultantes con sus componentes RGB y las imágenes originales donde se incluyen variables de ganancia pérdida basadas en la medida de correlación:

$$\frac{\text{Ganancia}}{\text{pérdida}} = \text{CorrelacionIdeal} - \text{CorrelacionObtenida}$$

De ésta matriz se pueden extraer fácilmente los mejores promedios de ganancia/pérdida desde diferentes puntos de vista:

- Al variar el nivel a la wavet aplicada, siempre se obtiene una mejor relación ganancia/pérdida espectral con el nivel 1 y espacial con el nivel 5.
- Al variar los procesos adicionales, siempre el uso de selección del mínimo genera la mejor relación, tanto espacial como espectral.

Entre los métodos tradicionales el mejor resultado cuantitativo desde la perspectiva de ganancia espacial, se obtuvo en la fusión realizada con la transformada de Brovey, usando la técnica de remuestreo interpolación bilineal. La tabla 1 muestra los resultados de esta evaluación.

Tabla 1: Análisis de correlaciones Transformada de Brovey

		B1	B2	B3	NB1	NB2	NB3	PAN	GANANCIAS / PERDIDA POR BANDA	GANANCIA / PERDIDA PROMEDIO
Brovey Bilineal	B1	1	0,95	0,905	0,666	0,482	0,384	0,526	-0,334	-0,464
	B2	0,95	1	0,955	0,62	0,519	0,421	0,532	-0,481	
	B3	0,905	0,955	1	0,559	0,456	0,423	0,484	-0,577	
	NB1	0,666	0,62	0,559	1	0,935	0,882	0,957	0,431	0,450
	NB2	0,482	0,519	0,456	0,935	1	0,964	0,979	0,447	
	NB3	0,384	0,421	0,423	0,882	0,964	1	0,955	0,471	
	PAN	0,526	0,532	0,484	0,957	0,979	0,955	1		

Aquí se puede observar como hubo una ganancia importante en la calidad espacial de la imagen, la cual corresponde a un 45% más con respecto a la imagen original. Se observa como la mayor ganancia estuvo en la

banda R y la menor en la B. De esta misma forma se ve también una pérdida equivalente en la parte espectral. Hay una pérdida de cerca de un 46% de la información, y esto se ve reflejado en la imagen 1, numeral (c). También se evidencia que mientras del lado espacial la mayor pérdida estuvo concentrada en la banda B, la mayor pérdida está asociada a la banda R, lo que puede llevarnos a creer que hay que concentrarse en estas bandas para mejorar los resultados de la fusión.

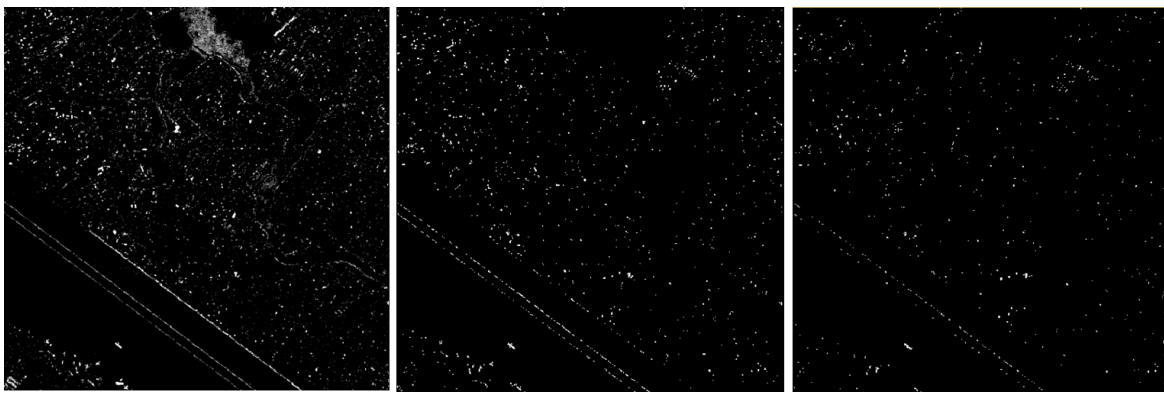
Por otro lado, se presentan en la Tabla 2, los resultados de la fusión que menor pérdida presentó desde la perspectiva espectral. En el análisis numérico se puede observar como la pérdida fue de un 20% (25% menos al compararla con la tabla anterior) a su vez que su ganancia espacial también fue muy modesta. Esto corrobora los análisis visuales, en donde se evidencia la poca definición de los detalles y a su vez una imagen no tan brillante, con el color más cercano al original. En esta fusión, la mayor ganancia espacial y la mayor pérdida espectral estuvieron concentradas en la banda R.

Tabla 2: Análisis de correlaciones Método de Multiplicación

		B1	B2	B3	NB1	NB2	NB3	PAN	GANANCIAS / PERDIDA POR BANDA	GANANCIA / PERDIDA PROMEDIO
Multiplicación Cúbica	B1	1	0,95	0,905	0,818	0,773	0,745	0,526	-0,182	-0,2
	B2	0,95	1	0,955	0,801	0,804	0,777	0,532	-0,196	
	B3	0,905	0,955	1	0,76	0,764	0,778	0,484	-0,222	
	NB1	0,818	0,801	0,76	1	0,979	0,961	0,651	0,125	0,140
	NB2	0,773	0,804	0,764	0,979	1	0,983	0,662	0,13	
	NB3	0,745	0,777	0,778	0,961	0,983	1	0,65	0,166	
	PAN	0,526	0,532	0,484	0,651	0,662	0,65	1		

Teniendo en cuenta los resultados de los métodos tradicionales, es posible obtener buenas imágenes, teniendo siempre en cuenta que la mejor imagen siempre depende del uso que se le vaya a dar. Si de interpretación visual se trata, debemos escoger una con buena definición de los objetos, buen contraste, y que los colores con respecto a la imagen original, no se vean tan degradados. Cuando requerimos realizar análisis por medio de algoritmos, siempre lo que buscamos es que los niveles digitales originales se vean lo menos afectados posibles.

La imagen 4 (a) corresponde a la resta de la banda R de la fusión por el método de multiplicación analizada en la tabla 2 con la imagen original. Al compararla con las bandas G y B, que corresponden a las imágenes (b) y (c), esta es la que mas diferencias con la imagen original posee, partiendo de la premisa que el ideal es una imagen cero. Al volver a la tabla 2, y al análisis que se realizo, confirmamos los datos numéricos en donde afirmamos que en la banda R, se encuentra la mayor pérdida espectral.



(a) (b) (c)

Imagen 4: Resta banda a banda

Una vez realizado el análisis de los métodos tradicionales, se analizarán los métodos de wavelet desde lo cuantitativo, teniendo como base la tabla 3, mostrada a continuación.

Tabla 3: Análisis de correlaciones Transformadas de Wavelet

Nombre Wavelet	Nivel wavelet	Proceso adicional	Ganancia / Pérdida							
			Espectral (Nueva-Original)				Espacial (Nueva-Original-Pancromática)			
			R	G	B	PROM	R	G	B	PROM
haar	1	Ninguno	-0,09	-0,126	-0,154	-0,123	0,157	0,177	0,177	0,173
haar	5	Min	-0,292	-0,413	-0,492	-0,399	0,411	0,455	0,455	0,445
sym2	1	Ninguno	-0,081	-0,113	-0,14	-0,111	0,143	0,161	0,161	0,158
sym2	5	Min	-0,289	-0,408	-0,486	-0,394	0,408	0,453	0,453	0,444
dmey	1	Ninguno	-0,071	-0,1	-0,124	-0,098	0,126	0,142	0,142	0,14
dmey	5	Min	-0,288	-0,405	-0,482	-0,392	0,407	0,452	0,452	0,443

Aquí son claves los valores promedios, donde para la dimensión espectral, son los mejores los más cercanos a cero y para la espacial los que más se alejan de cero. Teniendo esta referencia se puede ver como la menor pérdida espectral se tiene en la Wavelet Meyer (dmey) nivel de descomposición 1, sin ningún proceso adicional aplicado, con un valor de -0,098, y la mejor ganancia espacial en la Wavelet Haar nivel de descomposición 5, con el proceso MIN aplicado, con un valor de 0,445.

Se puede ver de forma directa como para la transformada dmey seleccionada, hay una relación directa en cuanto a la ganancia espacial, la cual es la menor entre todos los valores de la tabla. De la misma forma la Haar con mayor ganancia espacial, es la de mayor pérdida espectral. De aquí podemos deducir que hay una compensación en cuanto a las mejoras que se pueden obtener, y es necesario establecer cuanto se esta dispuesto a sacrificar de una dimensión para realizar un determinado trabajo.

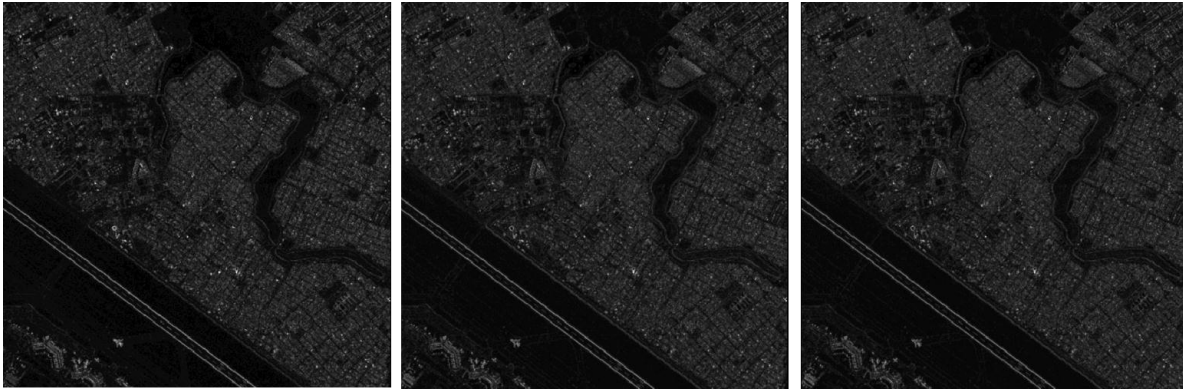


Imagen 5: Resta banda a banda Transformada de Meyer

Al analizar la resta de las bandas para la dmey que mejor resultado se observó en lo numérico, se obtiene un resultado bastante inesperado, y es que la imagen resta si bien tiene la menor pérdida de correlación, esta se distribuye de forma aparentemente uniforme por toda la imagen, y no concentrándose en puntos específicos. La imagen 5 muestra lo que sucede en las tres bandas por separado.

8. CONCLUSIONES

- En fusiones de imágenes empleando wavelet sin importar cual técnica o wavelet se use, la fusión de nivel 5 dio los mejores resultados para una aplicación que requiera mantener los niveles RGB sin realce sobre alguno de ellos, es decir el más parecido al original.
- El uso de un procesamiento adicional al fusionar una imagen por el método de wavelet en el cual se seleccionan los valores mínimos entre las matrices de coeficientes de aproximación generó siempre un mejor resultado.

REFERENCIAS

- [1] Chuvieco, Emilio. (2008). “Teledetección Ambiental – La observación de la tierra desde el espacio”, Tercera Edición, Ed. Ariel CIENCIA.
- [2] Riaño, Orlando. (2010). “Álgebra lineal en el procesamiento digital de imágenes”, Primera Edición, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- [3] Gonzales, Rafael. (1996). “Tratamiento digital de imágenes”. EE.UU, Ed. Eddison-Wesley.
- [4] Genderen, J, L. (2002). “*Image Fusion Revisited*”. ITC.
- [5] Lillo-Saavedra, M. y C., Gonzalo. (2007). “Multispectral Images Fusion by a Joint Multidirectional and Multiresolution Representation”. *International Journal of Remote Sensing*: 28(18), 4065-4079.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI ni los editores son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que está expresado en el escrito.