

Apuntes de Teledetección: Fusión de Imágenes



Autor:

Pedro Muñoz Aguayo

Geógrafo

pmunoz@ciren.cl

Centro de Información de Recursos Naturales

Abril 2013

Fusión de Imágenes

Corresponde a técnicas que permiten mezclar, a nivel de pixel, las virtudes de diversas imágenes, mejorando la capacidad de discriminación digital de los fenómenos espaciales y permitiendo al usuario, cambiar la escala del análisis espacial con la misma imagen. En pocas palabras, lo que se pretende es mejorar la calidad de los datos, lo que además sirve para mejorar la fiabilidad de las estimaciones de una determinada variable (Chuvieco, 2002).

La fusión de imágenes, genera imágenes sintéticas, producto de la combinación de uno o más sensores, por ejemplo, imágenes de radar con ópticas, de satélite con aéreas, térmicas con ópticas, etc.

Una de las aplicaciones más recurrentes es la de mejorar la resolución espacial de una imagen multi-espectral, usando una imagen de resolución espectral pobre, pero de mayor resolución espacial. Hace unos años lo más natural era fusionar bandas de Landsat 5 TM, de 30 m. de resolución espacial, con la banda pancromática de Spot, con pixel de 10 m. El resultado poseía lo mejor de los dos mundos, la espectralidad Landsat (Spot no poseía banda 5 ni banda 7) junto a la nitidez Spot. Este procedimiento, también puede hacerse entre fotografías aéreas e imágenes de cualquier satélite.

Hoy, lo más común es utilizar la banda pancromática, propia del mismo satélite y fusionarla con sus bandas espectrales. La ventaja de esto, es que ambas imágenes son de la misma fecha y poseen el mismo ángulo de inclinación de la toma, por lo tanto poseerán las mismas de sombras e igualdad de condiciones atmosféricas (T° , humedad del aire, presencia de nubes, cantidad de nieve, etc.)

Generalmente, la relación entre el tamaño del pixel de las bandas espectrales y la banda pancromática es de 1 a 4, es decir, si una banda espectral posee resolución espacial de 8 m. por pixel, la banda pancromática poseería una resolución de 2 m. En términos de cantidad de pixeles la relación sería de 4^2 a 1, lo que significa que a cada pixel espectral, le corresponden 16 pixeles del pancromático (ver imagen n°1). Esta

Imagen n°1



Comparación de la resolución espacial, entre la banda espectral y la banda pancromática

tendencia (de 1 a 4) no se cumpliría para las imágenes de la serie Landsat, donde la relación es 1 a 2.

Técnicamente, para que la fusión tenga éxito se deben cumplir varios requisitos:

1. La Georreferenciación o corrección de las imágenes involucradas, debe ser la misma. Es decir, la ubicación de los objetos en el espacio debe coincidir.
2. La extensión de las imágenes debe ser la misma, en otras palabras, la cantidad de líneas y columnas debe ser igual.
3. El tamaño del pixel, también debe ser igual en todas las bandas involucradas.

Para cumplir estos requisitos, las bandas espectrales deben ser procesadas. Lo primero es igualar las matrices en cuanto a tamaño del pixel y cantidad, de las bandas espectrales al pancromático. El procedimiento se llama re-muestreo e implica recalcular la matriz raster de las bandas, para que esta sea igual a la matriz del pancromático. La imagen n°2, muestra lo que ocurre con los valores de los pixeles durante el proceso. En esta, la relación es 1 a 2, donde 1 pixel espectral se multiplica por 4, pero los valores asignados no cambian, se repiten, ya que no se está mejorando la imagen o no hay nueva información espectral que representar. Se debe mencionar que el peso de la nueva banda en el disco duro, será de 4 veces mayor que la original. Para el caso de imágenes con relación 1 a 4, el peso aumenta 16 veces.

Imagen n°2

Imagen Original

35	37	38
32	34	32
37	38	35

Imagen Re-muestreada

35	35	37	37	38	38
35	35	37	37	38	38
32	32	34	34	32	32
32	32	34	34	32	32
37	37	38	38	35	35
37	37	38	38	35	35

Imagen n°3



Fusión de bandas con problemas de corrección.

Lo segundo, es que si se da la peor condición y la banda pancromática no coincide espacialmente con las bandas espectrales (error de corrección), estas deberán ser georreferenciadas, usando como referencia o fuente de puntos de control, la banda pancromática, asegurándose de que los objetos presentes en ellas estén plenamente sincronizados, de lo contrario, en la imagen fusión, estos elementos del paisaje, tenderán

a verse como fantasmas o con rebordes desfasados, tal como se puede apreciar en la imagen n°3.

La calidad de las imágenes a fusionar, es muy relevante cuando estas provienen de distintos sensores. Wald et al. (1997), recomienda que se cumplan ciertas condiciones medibles matemáticamente, mediante índices estadísticos¹, correlaciones espaciales, entre otros, y que van más allá de mera inspección visual. Estas condiciones se pueden resumir en:

1. Cualquier imagen fusionada, una vez degradada de su resolución original, debe ser lo más similar posible a la imagen original (antes de la fusión).
2. Cualquier imagen fusionada, debe ser lo más similar posible a la imagen original del sensor que aporta la imagen de mayor resolución espacial.

Como ejemplo de fusión, con una imagen del FASAT Charlie, la que trae 4 bandas

Imagen



Imagen FASAT Charlie: Bandas espectrales y banda pancromática del entorno de la ciudad de Talca. Marzo 2012

¹ Pueden ser los índices ERGAS espectral (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse), de Wald (2000) o ERGAS Espacial, para evaluar la calidad espacial de la fusión, de Lillo-Saavedra y Gonzalo (2005). También se puede utilizar la diferencia de los valores medios, la diferencia de Varianzas, la Desviación estándar o el error medio cuadrático (RMS).

espectrales, 3 del espectro visible (Azul, Verde y Rojo), 1 perteneciente a la sección del espectro llamada infrarrojo cercano, con 6.5 m. de resolución espacial y una banda pancromática de 1.80, (ver imagen n°4), podemos armar un falso color convencional (Combinación 432), pero de 6.5 m. por pixel. Sin embargo, fusionando el 432, con el pancromático, obtendremos un falso color convencional con una resolución de 1.80 m. (ver imagen n°5)

Imagen n°5

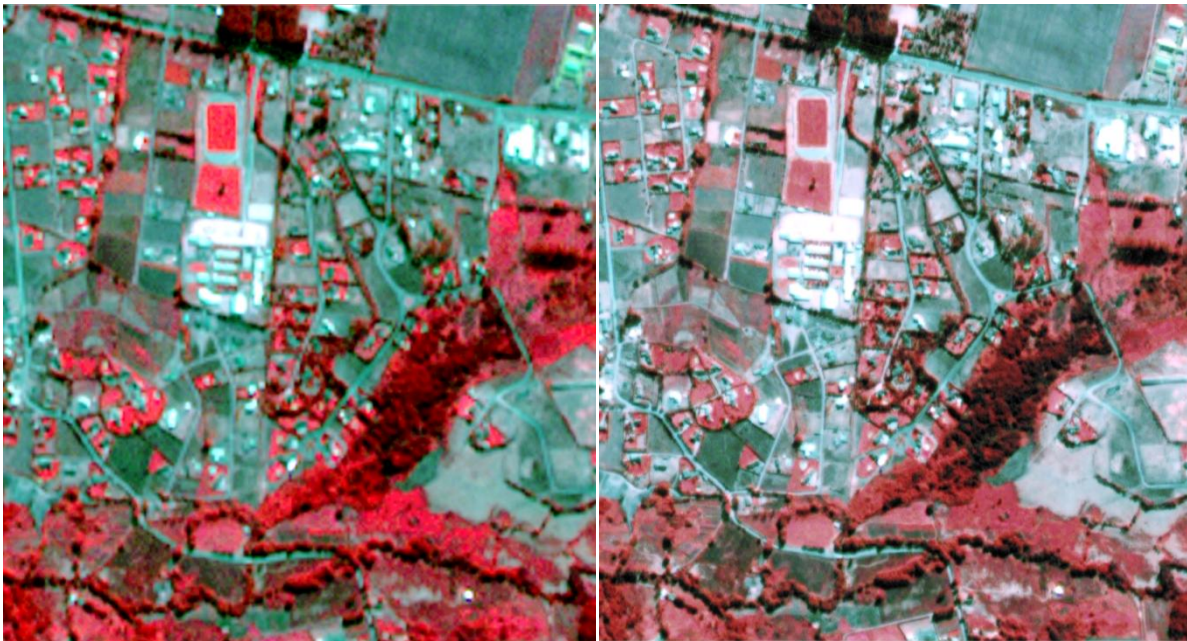


Imagen Izquierda: Combinación 432

Imagen Derecha: Fusión 432 Pan

Modelos de Fusión

Para Fusionar imágenes existen varios métodos, los que tienen una complejidad variable, que van desde combinaciones algebraicas entre bandas, pasando por los métodos multiplicativo y Brovey, hasta las transformadas de wavelets.

Valor medio simple (SIMPLE_MEAN)

El método de transformación de valor medio simple, aplica una ecuación de promedio de valor medio simple, a cada una de las combinaciones de banda de salida.

Banda Roja de Alta Resolución = $0.5 * (\text{Banda Roja original} + \text{Banda Pancromática})$

Banda Azul de Alta Resolución = $0.5 * (\text{Banda Azul original} + \text{Banda Pancromática})$

Banda Verde de Alta Resolución = $0.5 * (\text{Banda Verde original} + \text{Banda Pancromática})$

Transformada Discreta de Ondículas de Mallat (Wavelet) (TDWM):

Es una transformación lineal, que consiste en separar conjuntos de datos en componentes de distinta frecuencia espacial, representados en escalas comunes o normalizadas. Es uno de los métodos más utilizados dentro de las estrategias de fusión de imágenes de satélite, debido a la alta calidad espectral que caracteriza a las imágenes fusionadas mediante este método (Gonzalo-Martín y Lillo-Saavedra)

Problema: La baja direccionalidad o anisotropía del proceso de filtrado (horizontal, vertical y diagonal) y su carácter decimado, presenta como principal problema la aparición del efecto diente de sierra que deteriora notablemente la calidad espacial de las imágenes fusionadas. (Candès y Donoho, 2000).

Método de Transformación Wavelet de cavidades (à trous) ponderado. (Dutilleux):

Es independiente de la direccionalidad del proceso de filtrado (filtrado isotrópico) y por otro es redundante, en el sentido de que entre dos niveles de degradación consecutivos, no existe una compresión espacial diádica de la imagen original.

Método Multiplicativo de Gram-Schmidt (GS)

El método de fusión de imágenes Gram-Schmidt, se basa en un algoritmo general de ortogonalización de vectores. Este algoritmo se basa en vectores que no son ortogonales, después los rota para que sean ortogonales. En caso de imágenes, cada banda (pancromático, rojo, verde, azul e infrarrojo) corresponde a un vector de alta dimensión (#dimensiones = #píxeles).

El procedimiento es como sigue:

En primer lugar, una banda pancromática se simula a partir de las bandas espectrales de baja resolución espacial.

En segundo lugar, una transformación de Gram-Schmidt se realiza en la banda pancromática simulada y en las bandas espectrales, donde se emplea la banda pancromática simulada como la primera banda.

En tercer lugar, la alta resolución espacial de banda pancromática se intercambia con la primera banda de Gram-Schmidt.

Por último, la inversa de Gram-Schmidt transformada se aplica entonces para formar las bandas espectrales de alta resolución

Brovey:

La transformación Brovey, se desarrolló para incrementar el contraste visual en el histograma de datos de alta y baja gama. Utiliza un método que multiplica cada píxel multiespectral remuestreado, por la relación de la intensidad del píxel pancromático, correspondiente a la suma de todas las intensidades multiespectrales. Asume que el rango espectral que abarca la imagen pancromática, es el mismo que el que cubren los canales multiespectrales. En la transformación Brovey, la ecuación general utiliza las bandas roja, verde, azul (RGB) y las bandas pancromáticas como entradas, para producir nuevas bandas roja, verde y azul.

Por ejemplo:

$$\text{Banda Roja de Alta Resolución} = B. \text{ Roja} / [(B. \text{ Azul} + B. \text{ Verde} + B. \text{ Roja}) * \text{Pan}]$$

Método de transformación al espacio IHS (Intensidad-Saturación-Brillo)

La transformación IHS convierte la imagen desde un modelo de color RGB a un modelo de color IHS. Luego se reemplazan los valores de intensidad con aquellos que se obtienen de la imagen pancromática, la que se utiliza para refinar la imagen. Finalmente se aplica la transformación inversa a las nuevas 3 bandas, obteniendo un RGB.

Metodología de fusión de imágenes Multidirección-Multirresolución):

La mayoría de las representaciones de imágenes multirresolución y multidireccional, se basan en la aplicación de un doble banco de filtros. Uno para el paso de un nivel de resolución espacial superior al inferior y otro direccional, que capta las características direccionales en cada uno de los niveles. Gonzalo-Martín y Lillo-Saavedra (2007) Proponen una metodología que está basada en un único Banco de Filtros Paso Bajo Direccionales (BFPBD), lo que permite una representación conjunta, multirresolución y multidireccional de las imágenes a fusionar. Proporciona imágenes fusionadas con muy alta calidad espacial y espectral simultáneamente.

Ventajas, simplicidad frente a otros métodos con características similares, que recurren a la aplicación de varios bancos de filtros. Otra ventaja es que esta metodología de fusión es altamente anisotrópica, lo que la capacita para preservar las características espaciales de las imágenes bajo análisis, independientemente de su orientación.

¿Cuál método de Fusión de bandas es mejor?

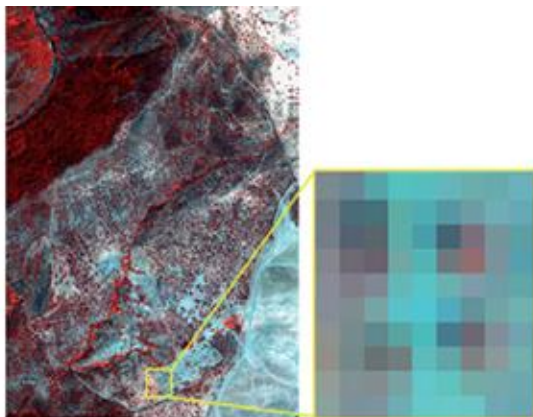
Para resolver esta incógnita, algunos autores han realizado comparaciones entre los diversos métodos, coincidiendo en que es necesario aplicarle test cualitativos y cuantitativos a las imágenes fusionadas. Según Gonzalo y Lillo-Saavedra (2007) no existe el mejor método de fusión de imágenes, sino la mejor imagen fusionada. Wald (2002) propuso algunos requisitos que deberían cumplir los test o Índices de Calidad:

- 1.- Deben ser independientes de las unidades, y por consiguiente de los instrumentos de calibración y de sus valores de ganancia.
- 2.- Ser independientes de número de bandas espectrales consideradas.
- 3.- Ser independientes de la relación entre las resoluciones espaciales de las imágenes fuente.

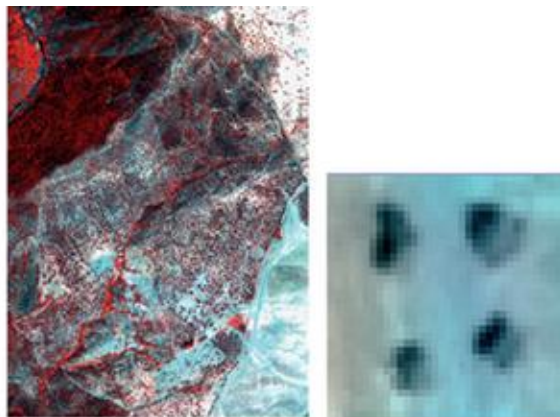
Los Índices de Calidad que cumplirían estos requisitos son el RMSE Error Medio Cuadrático y los ERGAS espectral y espacial.

Un ejemplo de estos análisis comparativos de los resultados, entre distintos métodos de Fusión de bandas, lo podemos apreciar en la imagen n°6, realizado por Arenas, Haeger y Jordano (2011).

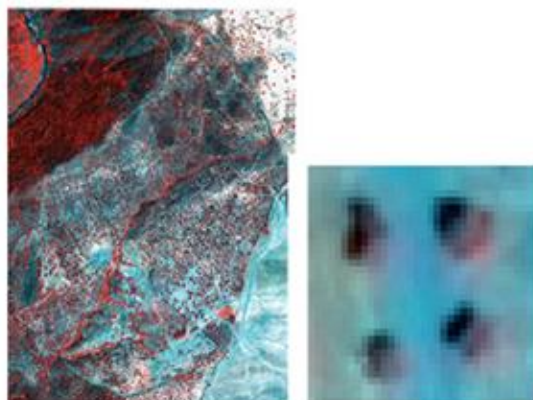
Imagen Original: Combinación 432



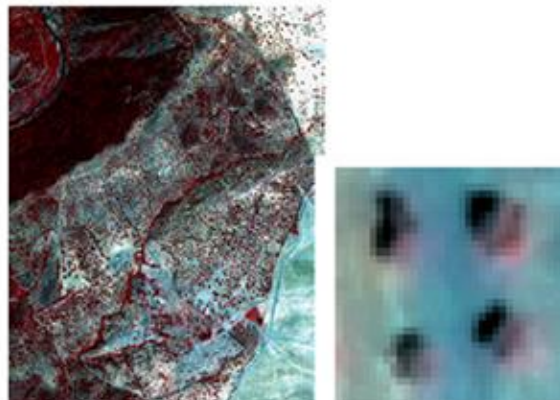
Fusión con el Pancromático utilizando Wavelet "à trous"



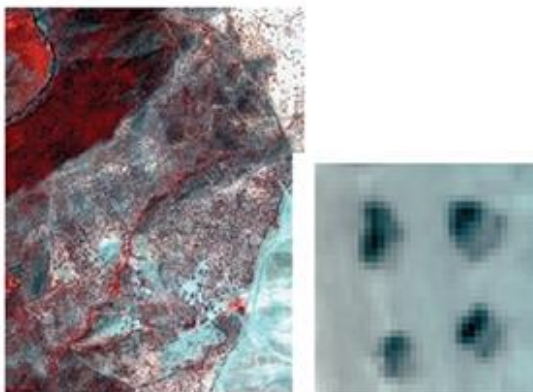
Fusión con el Pancromático utilizando Gram-Scmidt



Fusión con el Pancromático utilizando Intensidad-Saturación-Brillo (IHS)



Fusión con el Pancromático utilizando Multidirección - Multiresolución (MDMR)



Fusiones de bandas espectrales con banda pancromática, para una imagen QuickBird, de 15 de julio de 2008.

**Realizado por:
Arenas, Haeger y Jordano (2011)**

Estos autores, aplicaron varios Índices de Calidad a los resultados, obteniendo la tabla n°1, de la cual concluyen que para sus objetivos, detectar perales silvestres con imágenes de alta resolución fusionadas, el mejor método de Fusión a utilizar es Método de transformación al espacio IHS (Intensidad-Saturación-Brillo).

Comparación entre Índices de Calidad Espectral y Espacial				
Métodos de Fusión	ERGAS Espacial	ERGAS¹ Espectral	Correlación Espectral (CC)	ZHOU Espacial
Wavelet (à trous)	1.3162	1.7443	0.90577	0.95085
Gram-Schmidt (G-S)	2.3285	1.5363	0.91033	0.16144
HIS	1.0693	1.5070	0.90361	0.97751
Multidirección-Multiresol.	1.0020	1.8918	0.87767	0.95766
1.- En el índice ERGAS, mientras más cercano a cero, menos error. Bajo 3, se considera bueno.				
Fuente: Arenas, Haeger y Jordano (2011)				

Referencias:

ArcGIS Resources

<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//009t000000mw000000>

Arenas, S. Haeger, J. y Jordano, D. “Aplicación de técnicas de teledetección y GIS sobre imágenes Quickbird para identificar y mapear individuos de peral silvestre (*Pyrus bourgeana*) en bosque esclerófilo mediterráneo” Revista de Teledetección 35, pp 55-71. ISSN 1998-8740.

Candès, E. J. and Donoho, D. L., “Curvelets, Multiresolution Representation, and Scaling Laws”. *Wavelet Applications in Signal and Image Processing VIII*, A. Aldroubi, A. F. Laine, M. A. Unser eds., Proc. SPIE 4119. 2000

Chuvieco, Emilio. “*Teledetección Ambiental*”. Ed. Ariel S.A. Mayo 2002. ISBN: 84-344-8047-6. España.

Gandía, S. y Melià, J. “*La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: agricultura*” Universitat de València, 410 páginas. 1991.

Gonzalo C. y Lillo-Saavedra M. “Fusión de Imágenes QuickBird Mediante una representación Conjunta Multirresolución – Multidireccional” *IEEE Latin America Transaction*, 5(1): 32-35. 2007. (España) y la Universidad de Concepción (Chile) (D/2214/04 y DIUC 204.131.007-1.0).

Lillo-Saavedra, M., Gonzalo, C., Arquero, A. and Martinez, E. “*Fusion of multispectral and panchromatic satellite sensor imagery based on tailored filtering in the Fourier domain*”. *International Journal of Remote Sensing*, 26, pp. 1263-1268. 2005.

Mallat, S., “*A Wavelet Tour of Signal Processing*”, 2nd ed. Academic Press, Elsevier. 1999.