

COMPARACION DE METODOS DE INTEGRACION DE IMAGENES LANDSAT TM Y SPOT HRV EN EXPLORACION MINERA

J.P. Rigol Sánchez y M. Chica Olmo

*G.I. Geoestadística, Teledetección y GIS. Dpto. Geodinámica. Universidad de Granada
Facultad de Ciencias, Campus Fuentenueva. Avda. Severo Ochoa s/n. 18071. GRANADA
Tel/Fax: 958-243363
Email: grsg@carpanta.ugr.es*

RESUMEN.- En este trabajo se presentan los resultados del análisis y comparación de varios métodos de integración de imágenes de diferente resolución en el contexto de una actividad económica como es la exploración minera. El estudio ha sido aplicado en un área piloto de la zona de Cabo de Gata (Almería) utilizando imágenes Landsat TM y SPOT HRV Pan. Se han analizado seis métodos de los cuales se han comparado cuatro: IHS, Coordenadas Esféricas, Transformación de Componentes Principales y Filtros de Paso Alto. La aplicación de los diversos métodos ha permitido obtener una serie de imágenes integradas que han sido estudiadas estadística y visualmente, lo que ha permitido, junto con la consideración de algunas características, seleccionar al método Transformación de Componentes Principales como el más adecuado para un estudio de este tipo.

ABSTRACT.- In this article we give the results of an analysis and comparison of various methods of different resolution image integration, in the context of an economic activity like mining exploration. This investigation has been carried out in the Cabo de Gata (Almería) pilot zone using Landsat TM and SPOT HRV Pan images. Six methods have been analyzed, four of which have been compared: IHS, Spherical Coordinates, Principal Components Transformation and High Pass Filters. The application of diverse methods has permitted us to obtain a series of integrated images which have been statistically and visually studied. This has allowed us, bearing in mind some characteristics, to select the Principal Components Transformation method as the most adequate for a study of this type.

1.- INTRODUCCION

La disponibilidad de imágenes digitales de distintos sensores plantea, en muchos estudios aplicados, la posibilidad de su integración para crear nuevas imágenes que agrupen la información más adecuada de cada uno de ellos. Así, los datos del sensor SPOT HRV en modo pancromático, caracterizados por su buena resolución espacial, y los del sensor Landsat TM, caracterizados por su buena resolución espectral, presentan, en cierto sentido, una naturaleza complementaria que permitiría obtener, como resultado de su integración, un nuevo conjunto de imágenes con una resolución mejorada. De esta manera, se podría mejorar la resolución espacial aparente, y por tanto la interpretabilidad, de las imágenes multiespectrales TM mediante su integración con imágenes HRV Pan.

En el trabajo se exponen los resultados obtenidos del análisis y comparación de algunos de los métodos de integración existentes, a la hora de su aplicación en un proyecto de exploración minera. Con ello se pretende elegir el método más adecuado con el fin de obtener un nuevo conjunto de imágenes que faciliten el análisis visual y permitan mejorar la

discriminación y la cartografía de afloramientos de materiales de interés prospectivo.

2.- AREA DE ESTUDIO E IMAGENES DIGITALES

El estudio se ha llevado a cabo en la zona de afloramientos volcánicos de Cabo de Gata, situada en el extremo SE de la Península Ibérica, dentro de la provincia de Almería (España), cuya localización se muestra en la Figura 1. Este conjunto volcánico calco-alcálico de edad neógena aflora, junto con rocas sedimentarias, entre el Cabo de Gata y la localidad de Carboneras, y a lo largo de la falla de Carboneras, en la Serrata de Níjar. Como consecuencia de la actividad volcánica se desarrollaron una serie de sistemas hidrotermales, que dieron lugar a áreas de alteraciones-mineralizaciones de interés económico.

Estudios recientes (Arribas et al., 1988,1989; Sanger-Von Oepen et al., 1989, 1990), han mostrado la relación entre los depósitos minerales y sistemas hidrotermales de alteración de tipo ácido-sulfato, con depósitos epitermales de oro-alunita, de características similares al prototipo de Summitville, Colorado.

Para el estudio se utilizó una imagen Landsat TM de verano adquirida el 7 de Julio de 1991, y una imagen SPOT Pancromática de invierno, con fecha del 2 de Diciembre de 1991, de las que se extrajeron sendas subescenas que cubrían la zona de afloramientos volcánicos al sur de la localidad de Carboneras y que abarcaban un área de 300 km². Para realizar el análisis y comparación se utilizó un área piloto en torno a la localidad minera de Rodalquilar con un área de 54 km², cuyas imágenes SPOT Pan y Landsat TM se muestran en las Figuras 2a y 2b, respectivamente.

3.- METODOLOGIA

Como paso previo las imágenes fueron corregidas geoméricamente y georreferenciadas (UTM), y a la vez se remuestreó la imagen TM a un tamaño de pixel de 10mx10m para hacerlo coincidir con el de la imagen SPOT Pan, utilizando un algoritmo de convolución cúbica con objeto de suavizar el efecto "mosaico" introducido por el incremento digital del tamaño de pixel. Para realizar el análisis se utilizaron las seis bandas reflectivas del TM,

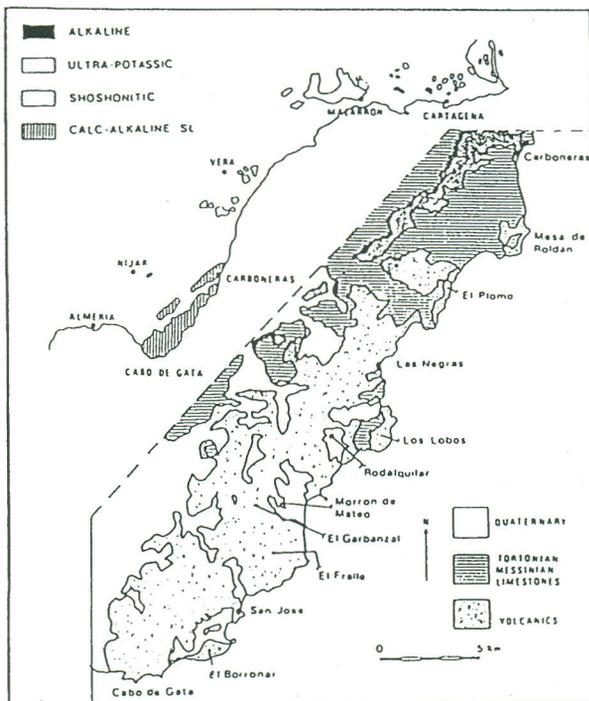


Figura 1.- Distribución de las rocas volcánicas en el SE peninsular (López y Rodríguez, 1980), y localización del área de estudio.

prescindiendo de la banda térmica por su inferior resolución espacial.

El principal objetivo de la integración lo constituía la interpretación visual, por lo que era deseable que se mantuviera la mayor parte posible de información

espectral, a la vez que se mejoraba la información espacial. Sin embargo, todos los métodos de integración introducen, en mayor o menor medida, ciertas distorsiones en los datos multiespectrales, respecto de los datos originales. Este aspecto se tuvo en cuenta a la hora de evaluar los distintos métodos, que se comentan a continuación, además de otros aspectos como la calidad visual del producto integrado, y la potencialidad y facilidad de aplicación. A continuación se comentan los métodos analizados en el estudio.

bandas	Coef. de correlación Int-Pan			
	IHS	TCP	CE	FPA
TM475	0.533	0.533	0.534	--
TM541	0.558	0.536	0.538	--
TM321	0.604	0.598	0.598	--
TM123457	-	0.565	-	--

Tabla I Correlación entre las componentes intensidad estimadas por cada método (FPA no genera Int.) y la banda Pancromática.

3.1.- Transformación IHS

Se trata de una técnica desarrollada para convertir composiciones RGB a los elementos fisiológicos fundamentales de la percepción humana del color, Intensidad-Tono-Saturación (Buchanan y Pendergrass, 1980), y es uno de los métodos más comunes de integración de datos. Tras aplicar la transformación se obtiene una componente intensidad que agrupa la información común a las tres bandas RGB, que es a su vez la relacionada principalmente con los cambios de iluminación por efecto del relieve. Si se aplica la transformación inversa tras sustituir la componente intensidad por una imagen con mayor resolución espacial podríamos obtener una tripleta RGB espectralmente similar a la de partida, pero con resolución espacial mejorada. Una desventaja de la transformación IHS respecto a otros métodos es que solamente pueden utilizarse tres bandas simultáneamente para el análisis. En el presente estudio se reemplazó la componente intensidad de diversas tripletas Landsat TM, que contenían información espacial TM de baja resolución, por la imagen SPOT Pan. Antes de esto, y para cada tripleta, los datos Pan fueron reescalados al rango de valores que presentaba la componente intensidad de la tripleta correspondiente, utilizando para ello distintas funciones, de tipo lineal o no lineal como la BCET, con resultados similares.

3.2.- Coordenadas Esféricas

En este caso, se aplica una transformación de sistema de coordenadas desde el sistema cartesiano, constituido por los ejes RGB, al sistema de coordenadas esféricas, en el que las coordenadas vienen dadas por el módulo del vector, y los dos ángulos que definen su posición. Esta longitud, dada por el módulo del vector, puede definirse como la intensidad y ser reemplazada por el canal pancromático con mayor resolución espacial antes de aplicar la transformación inversa. Este método presenta la limitación del número de bandas a que se puede aplicar simultáneamente, pero es de fácil aplicación y rápido de computar. El procedimiento que se siguió para aplicar el método a nuestro caso no difiere del utilizado en el método IHS.

3.3.- Transformación de Componentes Principales

Se basa en la aplicación de la clásica transformación de componentes principales a las bandas originales de la imagen multiespectral para generar un número igual de componentes. En el proceso de cálculo de las componentes principales la mayor parte de la información común a todas las bandas multiespectrales va a parar a la primera componente principal, por lo que esta componente podría asimilarse a una información pancromática, mientras que la información espectral exclusiva de cada banda va a parar a las otras componentes principales. Una ventaja que presenta este método respecto a IHS y CE es que no existe la limitación en el número de bandas al que puede aplicarse el análisis. De este modo, se ha aplicado el procedimiento al conjunto de las seis bandas reflectivas Landsat TM remuestreadas, así como a las mismas tripletas que los otros métodos, en este caso con el objeto de realizar comparaciones entre métodos.

	Coef. correlación TM originales-integradas		
	Banda 5	Banda 4	Banda 1
IHS	0.537	0.490	0.629
TCP	0.536	0.621	0.773
CE	0.546	0.520	0.693
TCP*	0.571	0.621	0.751
FPA*	0.921	0.846	0.794

Tabla II.- Correlación entre los datos multiespectrales originales e integrados: tripleta TM541 (* indica transformación aplicada al conjunto TM123457).

3.4.- Filtros de Paso Alto

En este método, la información con mayor resolución espacial es la que se procesa y se añade a la información multiespectral. Se aplica un filtrado espacial de paso alto sobre la imagen con mayor resolución espacial, con el objeto de aislar así la información de alta frecuencia, relacionada principalmente con la información espacial para finalmente sumar pixel a pixel la imagen resultante del filtrado al conjunto de datos con menor resolución espacial, pero que presenta mayor resolución espectral (Chavez et al., 1991). Este método permite integrar la información SPOT Pan en todas las bandas multiespectrales Landsat TM de una sola vez.

3.5.- Comparación de resultados

A la hora de realizar la comparación de los distintos métodos se han utilizado criterios tanto estadísticos como visuales con el objeto de comprobar la bondad de cada uno y elegir entre ellos el más apropiado. Así, dentro del primer grupo se ha incluido el análisis de la correlación entre la imagen Pancromática y la componente intensidad estimada por cada método, excluyendo el de FPA, así como la correlación entre los datos multiespectrales originales y los datos integrados. Respecto a los criterios visuales se ha realizado una estimación aproximada de la calidad visual de las imágenes integradas en relación a los objetivos del estudio.

Todos los métodos analizados, exceptuando el de FPA, asumen que la componente intensidad estimada en cada caso es muy similar a la imagen Pancromática, y por tanto ésta puede ser reemplazada por aquella antes de calcular la transformación inversa (Chavez et al., 1991). Para verificar la validez de esa asunción se han estudiado los coeficientes de correlación entre las componentes intensidad y la banda Pancromática, con el propósito añadido de cuantificar de modo aproximado las posibles distorsiones que introduce cada método en el proceso. En

la Tabla I se muestran las correlaciones así obtenidas para algunos conjuntos de bandas utilizados en el estudio. Éstas señalan que todos los métodos introducen ciertas distorsiones, ligeramente menores en el método IHS pero con valores muy similares en todos los casos. Además, mediante el análisis de las correlaciones entre las imágenes multispectrales originales y las imágenes generadas por cada método de integración se ha estimado la exactitud con que se ha simulado el contenido espectral de las primeras, y

ha permitido obtener así una indicación aproximada del cambio visual que el proceso de integración ha introducido en la imagen final. Estas correlaciones se muestran en las Tablas II, III y IV para tres tripletas TM utilizadas, indicando, en general, que los métodos FPA y TCP, en ese orden, son los que menos distorsiones introducen.

Paralelamente al análisis estadístico se ha realizado un análisis visual de los distintos conjuntos de imágenes generadas con los distintos métodos. Se han analizado diversas composiciones de color comparando visualmente las composiciones creadas con los datos originales con las composiciones equivalentes creadas con los datos integrados, y también se han comparado estas últimas entre sí.

La comparación así realizada por cuatro fotointérpretes ha permitido estimar un índice de la calidad visual de las imágenes integradas, de tal manera que las imágenes integradas con TCP e IHS obtuvieron una puntuación media de 9 sobre 10, y las obtenidas con CE y FPA, 7 y 6 respectivamente. Señalar que el aspecto general de los productos integrados experimenta una mejora notable respecto a los datos originales. La comparación visual entre datos originales e integrados indica que el método FPA produce las composiciones más parecidas a las originales, y el IHS las menos parecidas. En cambio, hay una mejora sustancial en la interpretabilidad de las composiciones de bandas integradas mediante TCP e IHS, respecto a las integradas mediante FPA, ya que aquellas presentan una variedad de tonos y colores mayor, facilitando su interpretabilidad, a la vez que conservan gran parte de la información multispectral original. Otro aspecto que se tuvo en cuenta en la comparación fue la posibilidad de aplicar realces de color de cada método. Así, el método TCP permite aplicar un realce óptimo del color (Vives Ruiz de Lope, 1995), a la vez que se realiza el proceso de integración.

4.- CONCLUSIONES

El análisis estadístico de los métodos de integración señala a FPA y TCP como los métodos

Coef. correlación TM originales-integradas			
	Banda 4	Banda 7	Banda 5
IHS	0.451	0.525	0.530
TCP	0.634	0.576	0.530
CE	0.514	0.595	0.536
TCP*	0.621	0.597	0.571
FPA*	0.814	0.846	0.921

Tabla III- Correlación entre los datos multispectrales originales e integrados: tripleta TM475 (* indica transformación aplicada al conjunto TM123457).

Coef. correlación TM originales-integradas			
	Banda 3	Banda 2	Banda 1
IHS	0.614	0.594	0.643
TCP	0.615	0.606	0.614
CE	0.606	0.583	0.626
TCP*	0.659	0.698	0.751
FPA*	0.849	0.777	0.794

Tabla IV.- Correlación entre los datos multispectrales originales e integrados: tripleta TM321 (* indica transformación aplicada al conjunto TM123457).

analizados que menos distorsionan las características espectrales de los datos multispectrales originales, mientras que los métodos IHS y CE aparecen como los que más distorsiones introducen. El análisis visual de los diversos productos integrados confirma al método FPA como el que produce las imágenes más fieles desde el punto de vista espectral a las imágenes originales, pero los productos obtenidos con TCP e IHS presentan un mayor colorido y facilitan en mayor grado la fotointerpretación visual de las distintas unidades geológicas, respecto a los productos obtenidos con FPA y CE.

En base a los resultados de las comparaciones se ha escogido el método TCP como el más idóneo para realizar un estudio de este tipo. Este método resulta ser versátil y accesible, permitiendo trabajar con todas las bandas TM simultáneamente. El método TCP introduce ciertas modificaciones en las características espectrales, que aunque mayores que las introducidas por el FPA, son menos importantes que las introducidas por el resto de métodos aplicados. Además, las imágenes integradas con TCP producen composiciones de color de una calidad superior a las del método FPA. Por otro lado presenta la ventaja de permitir un realce óptimo del color. En la Figura 2c se muestra la imagen integrada y realzada con TCP. Finalmente, la aplicación del método seleccionado ha facilitado la fotointerpretación geológica y minera, ya que la ventaja de la mejor resolución espacial de las imágenes integradas, se ha traducido en una delimitación mucho más precisa de los contactos entre diversos materiales diferentes. En este sentido, las imágenes integradas presentan una gran ventaja, inherente a su mejor resolución espacial, respecto a las imágenes multispectrales originales, puesto que aportan una información geomorfológica y estructural más abundante y precisa, aspectos que junto con la información proporcionada por las alteraciones hidrotermales, se constituyen en guías primordiales en la interpretación visual dentro del campo de la exploración minera.

5.- AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha sido posible gracias al Proyecto de I+D "DARSTIMEX" del Programa BRITE/EURAM de la CE y a la financiación recibida por la DGICYT correspondiente al proyecto PB92-0925-CO2-02.

6.- REFERENCIAS

- Arribas, A. Jr., Rytuba, J.J., Cunningham, C.G. Kelly, W.C., Rye, R.O. and Castroviejo, R. 1988. Rodalquilar deposits, Spain. First example of caldera-related epithermal gold mineralization in Europe: Part 2, Ore Genesis (Abs.): *Geol. Soc. Am. Abstracts with programs*, 20, A35 1.
- Arribas, A.Jr., Rytuba, Jj, Rye, R.O., Cunningham, C.G., Podwysoccki, M.H., Kelly, W.C., Arribas, A., Mckee, E.H. and Smith, J.G. 1989. Preliminary study of the ore deposits and hydrothermal alteration in the Rodalquilar caldera complex, southeastern Spain. *U.S. Geol. Survey Open-File Report* 89-327, 39 p.
- Buchanan, M.D. y Pendergrass, R. 1980. Digital Image Processing: Can Intensity, Hue and Saturation Replace Red, Green and Blue?. *Electro-Optical System Design, (EOSD)*. Marzo 1980.
- Chavez, P. S. Jr. y Bowell, J. 1988. Comparison of the spectral information content of Landsat Thematic Mapper and SPOT for three different sites in the Phoenix, Arizona region. *PE&RS*. Vol. 54, N°12: 1699-1708.
- Chavez, P. S. Jr., Sides, S. C. y Anderson, J. A. 1991. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT Panchromatic. *PE&RS*. Vol. 57, N°3: 295-303.
- Sanger-Von Oepen, P., Friedrich, G. And Vogt, G.H. 1989. Fluid evolution, wall-rock alteration, and ore mineralization associated with the Rodalquilar epithermal deposits in Southeast Spain. *Mineral. Deposita* 24, 1-38.
- Sanger-Von Oepen, P., Friedrich, G. And Kisters, A. 1990. Comparison of the fluid characteristics of the Rodalquilar and two neighboring gold deposits in Spain. *Mineral. Deposita*, 25 (suppl) S36-S41.
- Vives Ruiz de Lope, E. (1995). Realce de Imágenes Digitales de Teledetección. *Tesis Doctoral Universidad de Granada*. Granada. España.

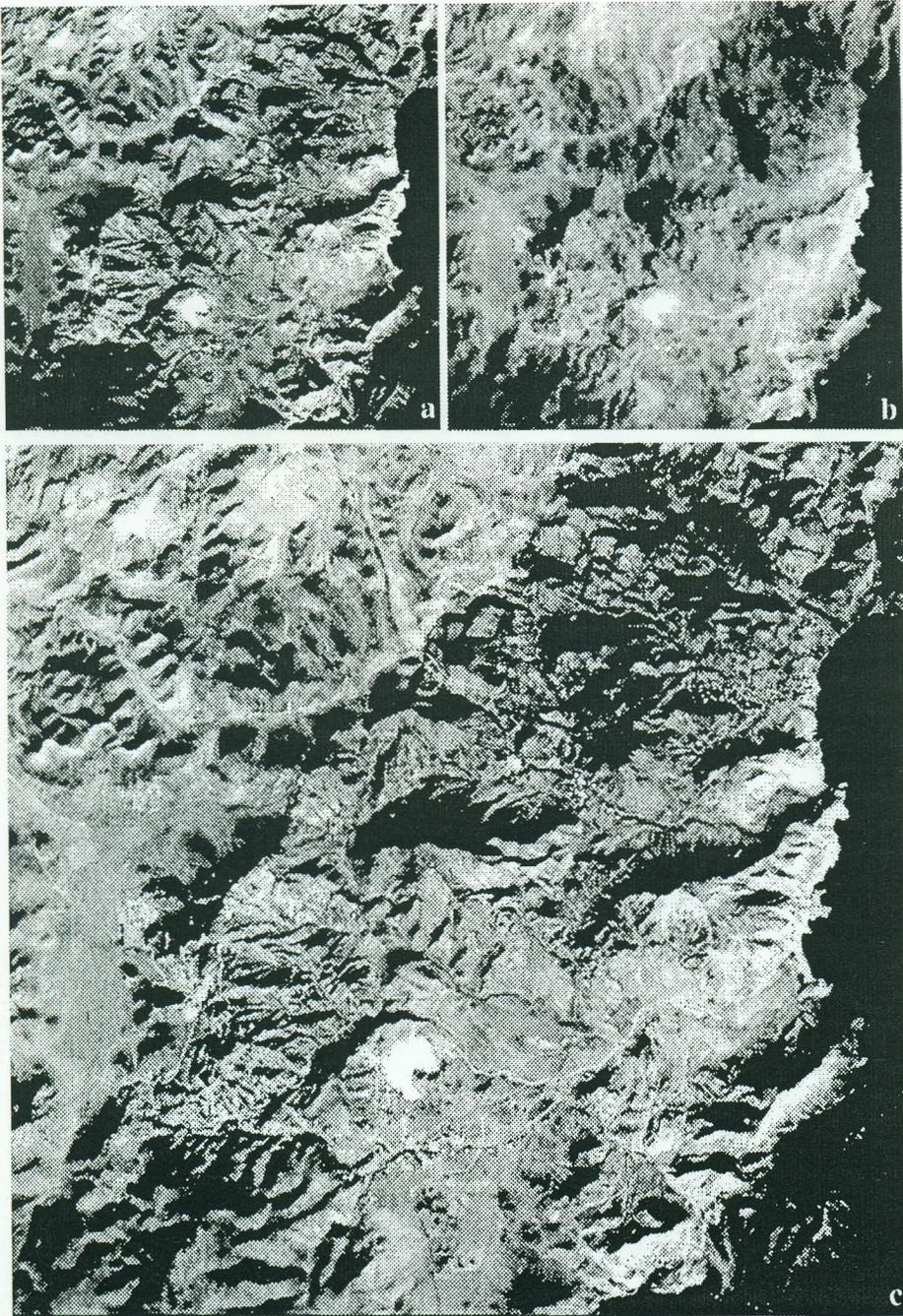


Figura 2.- Imágenes del sector piloto de Rodalquilar: SPOT Pan (a), Landsat TM: composición RGB 475 (b) e integrada con TCP: composición RGB 475 (c) (C. 42)