

# Validación de un método de corrección radiométrica sobre diferentes áreas montañosas

R. Salvador<sup>1</sup>, X. Pons<sup>1,2</sup> y F. Diego<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centre de Recerca Ecologica i Aplicacions Forestals (CREAF)

<sup>2</sup> Departament de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona.

<sup>3</sup> Unitat de Botànica, Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra. Barcelona.

## RESUMEN

El uso de un modelo de corrección radiométrica permite corregir o minimizar el efecto de la atmósfera y del relieve en las imágenes de satélite. Se aplicó un modelo simple de corrección radiométrica a dos imágenes Landsat TM (mayo y agosto) de tres áreas montañosas. Se realizaron clasificaciones mixtas sobre imágenes con corrección radiométrica y sin ella. También se aumentó el número de clases espectrales en la clasificación para ver su posible efecto mejorador. Generalmente los resultados mejoraron al usar la corrección y al aumentar el número de clases espectrales, consiguiéndose el máximo acierto al usar el mayor número de clases espectrales en una imagen corregida.

**PALABRAS CLAVE:** Corrección radiométrica, relieve, clasificación mixta.

## ABSTRACT

The use of a radiometric correction model allows correcting the effects of the atmosphere and topography in satellite images. A simple radiometric correction was applied to two Landsat TM images (May and August) over three mountainous areas. Mix type classifications were done upon corrected and non corrected images. The number of spectral classes used in the classification was increased in order to see a possible improvement. Results were usually improved when the correction model was applied and when the number of spectral classes was increased; best results were obtained using the highest number of spectral classes upon a corrected image.

**KEY WORDS:** Radiometric correction, relief, mixed classification.

## INTRODUCCIÓN

La heterogeneidad del relieve es uno de los factores que puede aportar más varianza y confusión espectral en cualquier tipo de imagen captada por un sensor remoto. Las áreas montañosas, y el relieve abrupto en general, pueden afectar de manera importante a la imagen tomada por el sensor. Más allá de los problemas geométricos derivados de la forma de la Tierra, posición del sensor, relieve accidentado, etc., se producen problemas radiométricos relacionados con la iluminación y la atmósfera, generalmente de elevada complejidad y de difícil modelización. Con el objetivo de minimizar todos estos efectos se han desarrollado diferentes modelos de corrección radiométrica. Estos modelos suelen comprender tanto correcciones de las condiciones de iluminación como de los efectos atmosféricos (Bariou et al., 1985; Rees, 1990).

Las diferentes condiciones de iluminación provocadas por diferentes orientaciones y pendientes del relieve pueden llevar a respuestas espectral es muy diversas de un mismo tipo de formación vegetal o de cubierta del suelo, aumentando de forma considerable la varianza interna de su respuesta. Por otra parte, un incremento en el número de clases espectrales en una clasificación puede, en cierto grado, permitir la caracterización de las diferentes respuestas espectrales de un tipo de

cubierta del suelo bajo diferentes condiciones de iluminación; posteriormente estas clases espectrales pueden ser reagrupadas en su clase temática correspondiente mediante el uso de áreas de entrenamiento.

Sin embargo, el uso de un número elevado de clases espectrales no resuelve de forma total los problemas generados por las diferentes condiciones de iluminación, ya que el consiguiente incremento de la varianza interna de las clases temáticas puede llevar al solapamiento de sus rangos de valores, produciéndose confusión espectral. La clasificación de una imagen no corregida radiométricamente englobará dentro de una misma clase espectral las diferentes cubiertas con respuesta espectral parecida, haciendo así imposible (si no se usa información adicional de origen diferente) la discriminación completa de las clases temáticas. Además, la realización de clasificaciones de imágenes tomadas en diferentes fechas, y por lo tanto, bajo diferentes condiciones de iluminación (debidas principalmente a distintos valores de la posición solar) puede llevar a la asignación de una superficie a clases temáticas diferentes. Este fenómeno será evitado mediante la utilización de imágenes corregidas radiométricamente en las cuales los DN de cada píxel han sido convertidos a reflectancias.

Por otro lado, la implementación realista de algunos modelos de corrección radiométrica existentes puede resultar de elevada dificultad debido a su complejidad. Algunos de estos modelos fueron desarrollados bajo unas condiciones muy concretas, utilizando superficies de características conocidas y, por tanto, su extrapolabilidad es baja. Otros modelos dependen de la medición de variables físicas atmosféricas en el momento de la toma de la imagen, haciendo imposible su uso al trabajar con imágenes tomadas en el pasado (Bariou et. al., 1986; Tanré et. al., 1986).

El grupo de trabajo finalmente optó por desarrollar y utilizar un modelo simple de corrección radiométrica que, evitando los problemas asociados a los modelos complejos, diera resultados aproximados de suficiente calidad (Pons y Solé, 1994).

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es doble. En primer lugar se pretende revalidar un método simple de corrección radiométrica para sensores sensibles a la radiación reflejada (espectro visible e infrarrojo próximo y medio) (Pons, 1992; Pons y Solé, 1994). Dicho método fue inicialmente testado sobre imágenes unitemporales (Pons, 1990) y ha sido usado en estudios de evolución temporal de firmas espectrales de vegetación natural (Pons y Roure, 1993). El modelo de corrección radiométrica posteriormente ha sido mejorado: se ha incorporado el efecto de las sombras proyectadas, y se ha optimizado el escalado del rango de reflectancias en las imágenes corregidas.

El segundo objetivo es comprobar la posible mejora de la calidad de las clasificaciones finales al aumentar el número de clases resultantes de la clasificación no supervisada (se realizó una clasificación mixta con una primera fase de clasificación no supervisada). Con ello se pretende comprobar si el incremento del número de clases espectral es en una clasificación puede llegar a sustituir el uso de imágenes corregidas radiométricamente.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizaron imágenes del sensor TM de satélites de la serie Landsat (canales 1,2,3,4,5,7) de tres áreas montañosas de Cataluña: el Montseny, Collserola y Sant Uorenç; del Munt i serra de l'Obac. Para cada macizo se escogió una imagen del mes de mayo (16-5-1989 para Collserola, y 16-5-92 para los otros dos macizos) y una imagen del mes de agosto (1-8-1988 para los tres casos).

Las imágenes fueron corregidas geométricamente mediante algoritmos que tienen en cuenta las deformaciones provocadas por el relieve (Pala y Pons, 1995). Posteriormente se aplicó la corrección radiométrica a dichas imágenes (Figura 1). Los

parámetros de entrada requeridos por el modelo simple de corrección radiométrica son:

- Constantes de calibración del sensor. (Markham y Baker, 1987)
- Parámetros estándar de radiación solar exoatmosférica. (Dozier, 1989).
- Valores estándar de densidad óptica atmosférica (Dozier, 1989).
- Fecha y hora de captación de las imágenes; posición solar.
- Modelo digital de elevaciones del terreno.

Seguidamente se realizó la clasificación en clases temáticas de las tres áreas montañosas, tanto para las imágenes corregidas radiométricamente, como para las no corregidas. Esto se realizó en dos pasos consecutivos: (Figura 2)

1) Clasificación no supervisada. Se aplicó el algoritmo de clasificación multidimensional ISODATA (Duda y Hart, 1973; Erdas, 1990), tomando los centros de *cluster* iniciales sobre el rango total del histograma. Se usaron doce canales de cada área montañosa (seis canales TM para dos fechas) y se dieron tres valores iniciales del número de *clusters* (30, 80 y 252 centros) para cada zona, ello para poder testar el efecto de un diferente número de clases espectral es en la clasificación. Este proceso se realizó con las imágenes corregidas y las imágenes no corregidas consiguiéndose una clasificación en clases espectrales de las tres áreas de estudio (18 clasificaciones en total).

2) El segundo paso del proceso fue la asignación a diferentes clases temáticas de las clases espectrales conseguidas en la clasificación no supervisada anterior. Este proceso se hizo mediante áreas de entrenamiento de los tipos de cubierta del suelo más comunes o diferenciables en cada una de las tres áreas montañosas. Las clases espectrales que se encontraban dentro de una o varias áreas de entrenamiento fueron asignadas a las clases temáticas representadas por las áreas de entrenamiento en las que se presentaban con mayor frecuencia. Las clases espectrales que no fueron englobadas dentro de ninguna de las áreas de entrenamiento se consideraron no clasificadas. Al trabajar con áreas de entrenamiento de diferentes tamaños se optó por ponderar el proceso, dando igual peso a todas ellas; de esta forma se evitó una asignación sesgada de las clases espectrales a las clases temáticas representadas por áreas de entrenamiento mayores.

El cálculo de los valores de acierto de las clasificaciones realizadas se hizo mediante el uso de áreas de test (Figura 2), que fueron diferentes de las áreas de entrenamiento para la clasificación. Los resultados se presentaron en matrices de confusión para poder evaluar la calidad de las clasificaciones para cada una de las clases temáticas por separado (mediante el cálculo de los errores de omisión y de comisión) y para poder observar la separabilidad entre las diferentes clases.

Finalmente, y como dato final de comparación, se estudiaron los resultados generales de acierto global. El acierto global se calculó sobre las áreas de test, sumando el número de aciertos en cada clase temática y dividiéndolo entre el número total de píxeles de las áreas de test. Sin embargo, y puesto que las áreas de test no suelen ser perfectamente representativas del mapa final, se ponderaron los resultados obtenidos para cada clase mediante

valores extraídos del área que ocupaba dicha clase en el conjunto de la imagen clasificada. Este proceso se llevó a cabo en dos variantes: una que calculaba el peso con respecto a toda la superficie del mapa, incluyendo los píxeles no clasificados, y otra que lo calculaba teniendo únicamente en cuenta la superficie que había sido clasificada.

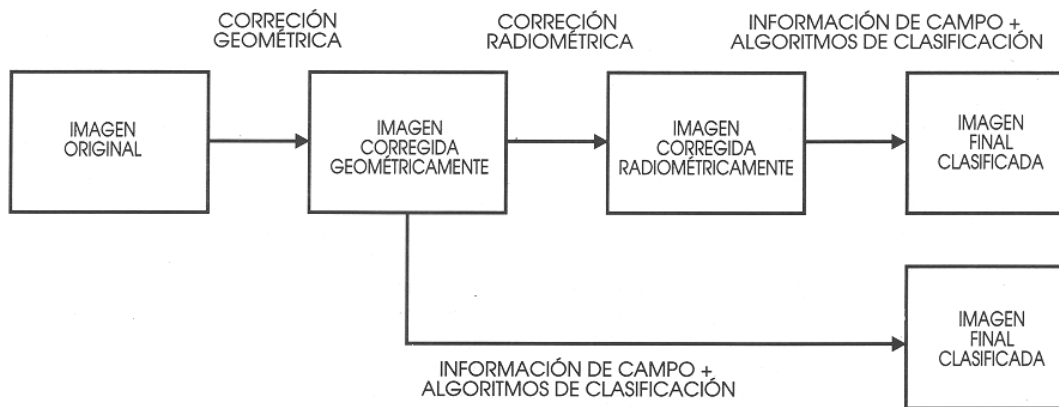


Figura 1. Esquema general de trabajo

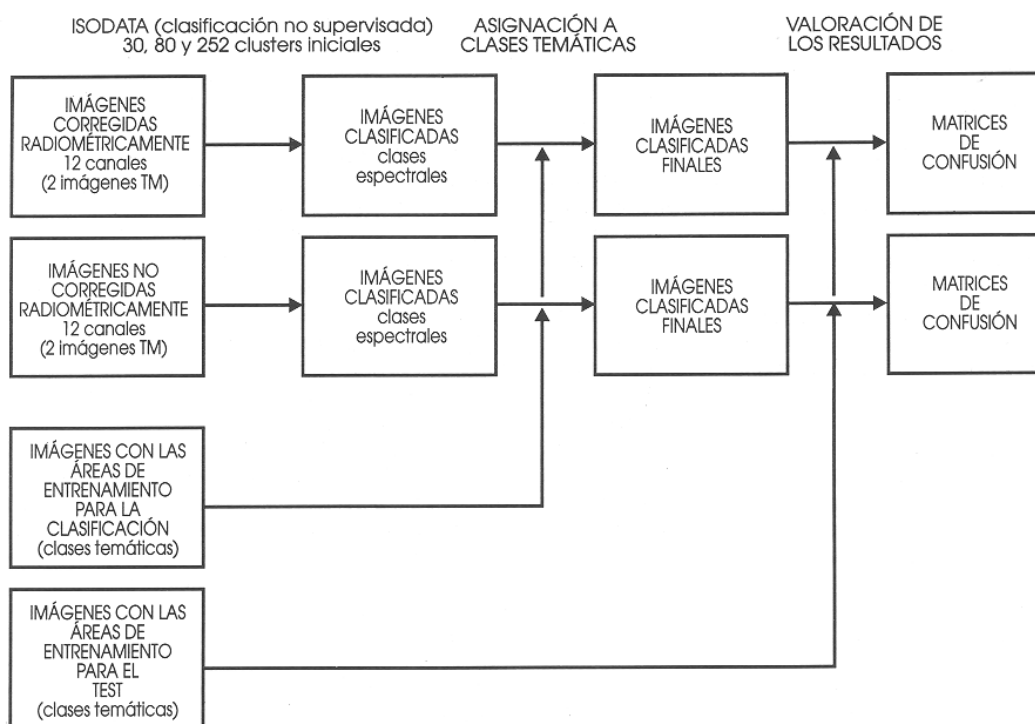


Figura 2. Esquema general del proceso de clasificación mixta

## RESULTADOS

En todas las clasificaciones realizadas el número de clases espectrales no asignadas a ninguna clase temática ha sido muy bajo; en consecuencia, los

valores de acierto global ponderado, en relación al total y a los píxeles clasificados, han resultado idénticos, o muy parecidos (Tabla 1).

		Nº DE <i>CLUSTERS</i> INICIALES		
		30	80	252
Collserola	NC	52.26 (52.26)	53.90 (53.90)	58.49 (57.73)
	C	48.41 (48.41)	60.63 (60.25)	64.39 (63.40)
Montseny	NC	49.19 (49.19)	58.94 (58.94)	66.47 (66.47)
	C	66.75 (66.75)	70.18 (70.18)	73.52 (73.52)
St. Llorenç	NC	62.31 (61.85)	52.29 (51.39)	62.46 (59.13)
	C	67.60 (67.60)	79.70 (78.91)	82.38 (80.24)

**Tabla 1:** Valores de acierto global (en %) para 30, 80 y 252 *clusters* iniciales. NC: Valores de la clasificación realizada sobre imágenes no corregidas radiométricamente. C: Valores de la clasificación realizada sobre imágenes corregidas. Los valores entre paréntesis corresponden al acierto en relación al área total del mapa. Los valores sin paréntesis corresponden al acierto en relación al área clasificada.

En la montaña de Collserola, tanto para las clasificaciones realizadas sobre imágenes corregidas como para las realizadas sobre imágenes no corregidas, encontramos un aumento de la fiabilidad de la clasificación al aumentar el número de *clusters* iniciales de la clasificación no supervisada. Los máximos valores de acierto se consiguen al usar un elevado número de *clusters* iniciales en una imagen con previa corrección radiométrica.

En el macizo del Montseny encontramos resultados similares a los de Collserola. Se observa además que, en todos los casos, los valores de acierto global son mayores para las clasificaciones realizadas sobre imágenes corregida radiométricamente, obteniendo también los mejores resultados al usar el mayor número de *clusters* iniciales sobre una imagen corregida radiométricamente.

Las clasificaciones realizadas en el macizo de St. Llorenç del Munt i serra de l'Obac sobre imágenes no corregidas radiométricamente no presentan un incremento gradual del acierto global al aumentar el número de *clusters*, sino que, al contrario, se encuentra un descenso del acierto global con 80 *clusters* iniciales, en relación a los valores de acierto conseguidos con 30 y 252 *clusters*. Los resultados en imágenes corregidas radiométricamente, como sucede en las otras áreas, mejoran al aumentar el número de *clusters*, y para todos ellos son mejores que los obtenidos en imágenes no corregidas radiométricamente.

En general, los mejores valores de acierto global se encuentran en las clasificaciones realizadas en St. Llorenç; del Munt i serra de l'Obac (7 clases temáticas); en el Montseny se encuentran resultados intermedios (9 cl. temáticas), y los resultados más bajos se obtienen en Collserola (10 cl. temáticas) (Tabla 1).

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los resultados generales apuntan a una mejora de las clasificaciones al usar imágenes corregidas radiométricamente; esta mejora es debida, probablemente, a las ventajas del uso de las correcciones, como se ha comentado en la introducción de este artículo. El incremento del número de centros de *cluster* iniciales (traducido en un incremento en el número de clases espectral es a considerar) ha provocado, en la mayoría de los casos, un aumento de la fiabilidad de las clasificaciones finales. En el caso de las imágenes no corregidas, el incremento del número de clases espectrales ha permitido caracterizar las diferentes áreas de un mismo tipo de cubierta que, bajo diferentes condiciones de iluminación, presentaban respuestas espectrales diferentes.

Generalmente, las clasificaciones realizadas mediante imágenes corregidas radiométricamente (usando un mismo número de centros de *cluster*) ha dado mejores resultados, lo que puede atribuirse a la naturaleza continua de la variación de las condiciones de iluminación, que es abordada de forma más eficaz por la corrección radiométrica que por una aproximación puramente estadística (en el modelo de corrección radiométrica, las variaciones de iluminación son corregidas usando valores del ángulo de incidencia de la radiación solar). El aumento del número de clases espectrales mejora los resultados al fragmentar el continuo de variación de las condiciones de iluminación, llegando a caracterizar los picos de frecuencia más importantes, pero es incapaz de resolver el problema de una forma tan efectiva como la corrección radiométrica. Por otra parte, la confusión espectral debida al solapamiento de los rangos de las respuestas espectrales de los diferentes tipos de cubierta del suelo se mantiene por mucho que se aumente el número de clases espectrales; al usar la corrección radiométrica, sin embargo, este problema se ve solucionado siempre que esta confusión espectral tenga realmente su origen en la heterogeneidad de las condiciones de iluminación debidas al relieve.

El número de clases temáticas usadas en cada área de estudio, como es de suponer, ha influido en los valores finales de acierto global. En Collserola, se utilizó el número más alto de clases temáticas; algunas de ellas representaban tipos de cubiertas de suelo muy concretas, de pequeña extensión y de fácil confusión con otras clases más extensas. Al contrario, en St. Llorenç; se definió un número menor de clases temáticas, más "claras" y con bastante extensión, haciéndose más difícil su confusión, y aumentando, por tanto, los valores de acierto global. Estas variaciones de los valores del acierto global en relación al número de clases temáticas no afecta, sin embargo, el carácter comparativo del trabajo realizado.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Institut Cartografic de Catalunya la utilización del modelo digital de elevaciones de las tres áreas de test. También se agradecen a Xavier Baulies, del ICC, los estimulantes comentarios en relación al diseño experimental de este trabajo. Parte del trabajo ha sido posible gracias a una beca de formación de investigadores concedida a Raimon Salvador, por la Dirección General de Universidad de la Generalitat de Catalunya.

## BIBLIOGRAFIA

- ERDAS, 1990. Classification. In *Erdas Field Guide*. Erdas inc. (ed.) 6: 137-140.
- BARIOU, R., LECAMUS, D. y LEHENAFF, F. 1985. *L'atmosphère*. Rennes. Presses Universitaires de Rennes 2. 77 p.
- BARIOU, R., LECAMUS, D. y LEHENAFF, F. 1986. *Corrections atmospheriques*. Rennes. Presses Universitaires de Rennes 2. 116 p.
- DOZIER, J. 1989. Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*. 28: 9-22.
- DUDA, R. D. Y HART, P. E. 1973. *Pattern Classification and Scene Analysis*. New York. John Wiley & Sons.
- MARKHAM, B. L. Y BARKER, J. L. 1987. Thematic Mapper band pass solar exoatmospheric irradiances. *International Journal of Remote Sensing*. 8: 517-523.
- PALA, V. y PONS, X. 1995. Incorporation of relief into geometric corrections based on polynomials. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 7: 935-944.
- PONS, X. 1990. *Utilització d'un model de correcció radiométrica sobre imatges de satellit per a la millora de la cartografia automàtica de la vegetació*. Serra de Collserola. Tesis de Licenciatura. Universitat Autònoma de Barcelona. 74 pp. (inédita).
- PONS, X. y ROURE, J. M. 1993. Caracterización espectral de siete formaciones vegetales mediterráneas a lo largo del año. En *IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*. Sevilla (1991), pp. 60-69. AET.
- PONS, X. 1993. *Aportacions a la teledetecció i als sistemes d'informació geogràfica en estudis de vegetació*. Tesis Doctoral, edición en microficha. Universitat Autònoma de Barcelona. 427 pags.
- PONS, X. y SOLÉ, L. 1994. A Simple Radiometric Correction Model to Improve Automatic Mapping of Vegetation from Multispectral Satellite Data. *Remote Sensing of the Environment*. 48: 191-204.
- REES, W. G. 1990. *Physical principles of remote sensing*. Cambridge. Cambridge University Press. 247p.
- TANRÉ, D. et. al. 1986. *Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (SS)*. Laboratoire d'Optique Atmosphérique. Université des Sciences et Techniques de Lille.