

EFFECTOS DE LA COMPRESIÓN DE IMÁGENES CON PÉRDIDA (JPEG Y JPEG2000) EN LA CLASIFICACIÓN DIGITAL DE CULTIVOS Y ZONAS FORESTALES

ZABALA TORRES, A.¹; PONS FERNÁNDEZ, X.^{1,2};
MORE GÓMEZ, G.², SERRA RUIZ, P.¹

¹Departament de Geografia. Universitat Autònoma de Barcelona
Edifici B. 08193, Bellaterra (Cerdanyola del Vallès)
Alaitz.Zabala@uab.cat, Xavier.Pons@uab.cat, Pere.Serra@uab.cat

²Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF)
Edifici C, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193, Bellaterra (Cerdanyola del Vallès)
G.More@creaf.uab.cat

RESUMEN

Los formatos de compresión con pérdida (p.ej., JPEG y JPEG2000) permiten elevadas compresiones con una calidad de la imagen notable para ratios de compresión moderadas. Ha habido pocos análisis cuantitativos de las implicaciones de estas compresiones en la cartografía obtenida a partir de estas imágenes. Este estudio pretende valorar la influencia de esta compresión sobre la clasificación digital. Se emplean dos áreas con diferentes niveles de fragmentación espacial para cada uno de los tipos de uso de suelo estudiados (campos de cultivo y áreas forestales). Cada una de estas áreas se analiza utilizando cuatro o cinco escenas de imágenes Landsat (2002-2004) otras variables.

Los algoritmos de compresión/descompresión utilizados son la implementación de JPEG de MiraMon y BOI para JPEG2000. Las imágenes originales presentan áreas sin datos que no todos los programas de compresión/descompresión utilizados son capaces de tratar, por lo que es necesario eliminarlos de las imágenes antes de la compresión.

Para la validación del efecto de la compresión se evalúa la calidad de una clasificación híbrida, consistente en una modificación de IsoData seguida de un reclasificación automática ponderada basada en áreas de verdad terreno. Dicha evaluación se realiza con un segundo conjunto de áreas verdad terreno.

Los resultados muestran la influencia de la compresión en la calidad tanto desde una perspectiva “por píxel” como en cuanto a la homogeneidad de los polígonos obtenidos. El área clasificada (clasificaciones con variables radiométricas) aumenta a niveles de compresión altos (menor aumento para JPEG2000, especialmente en áreas fragmentadas) pero disminuye al usar clasificaciones con variables topo-climáticas. Por otra parte, el acierto global disminuye a niveles de compresión altos, aunque el punto de inflexión ocurre en situaciones diferentes dependiendo del formato de compresión. Por regla general, JPEG2000 da resultados mejores tanto cuantitativamente (acierto y área clasificada) como visualmente (imágenes con menos efecto de sal y pimienta).

Palabras clave

Compresión con pérdida, JPEG, JPEG2000, clasificación híbrida, cultivos, zonas forestales.

ABSTRACT

Lossy compression formats (e.g. JPEG and JPEG2000) achieve very high compression ratios with no appreciable loss of image quality, at least for moderate compression ratios. In

spite of the spectacular nature of the compression ratios achieved, there has been little quantitative analysis of the implications of these compressions in the cartography obtained from these images. This study aims to assess the influence of this compression on digital classification. Two areas with different levels of space fragmentation are used for each of the land covers used (forest and crops areas). Each of these areas is analyzed using four or five scenes of Landsat images (2002-2004) and other variables.

The used algorithms of compression/decompression are the JPEG MiraMon implementation and BOI for JPEG2000. Original images present areas without data which not all the used programs of compression/decompression are capable of treating, therefore it is necessary to eliminate them from the images before the compression.

For the validation of the compression effects, the quality of a hybrid classification is evaluated, consistent in a modification of IsoData followed by an automatic reclassification based on ground truth areas. The evaluation is carried out with a second set of ground truth areas.

The results show the influence of the compression in the quality both from a “by pixel” perspective and regarding the homogeneity of the obtained polygons. The classified area (classifications with radiometric variables) increases at high compression levels (minor increase for JPEG2000, especially in fragmented areas) but decreases when using classifications with topo-climatic variables. On the other hand, the global image accuracy decreases at high compression levels, although the inflection point appeared at different CR depending on the compression format. As a rule, the JPEG2000 format gives better results quantitatively for forests (accuracy and classified area) and visually (images with less “salt and pepper” effect) for both land covers.

Keywords

Lossy compression, JPEG, JPEG2000, hybrid classification, crop areas, forest areas.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En 1991 aparece el formato JPEG (ISO/IEC 10918-12, 1994), propuesto por el *Joint Photographic Experts Group*, que supone una revolución en la compresión de imágenes por cuanto consigue niveles de compresión muy elevados sin pérdida apreciable de la calidad visual, al menos hasta un tamaño de fichero del orden de un 20% del original. Más adelante aparecen esquemas de compresión basados en transformadas *wavelet* que aportan niveles de compresión aún mayores para calidades visuales similares. Entre estos últimos años han tenido especial presencia entre la comunidad de TD y SIG los formatos SID, ECW y JPEG2000 (ISO/IEC 15444-1, 2000). En todos estos casos hay que tener en cuenta que nos encontramos ante algoritmos de compresión degradativos, es decir, que sacrifican una parte de los datos para obtener mayor ratio de compresión.

A pesar de la espectacularidad de los niveles de compresión conseguidos, son escasos los análisis cuantitativos de las implicaciones de estas compresiones. El presente trabajo pretende evaluar la influencia de la compresión de imágenes en la clasificación digital aplicada a zonas forestales y de cultivos basándose en nuestras propias experiencias así como en la de los trabajos de Paola & Schowengerdt (1995), Tintrup *et al.* (1998) y Pérez *et al.* (2003).

Además, nuestro trabajo se aplica a una zona mayor, con lo que esperamos tener resultados más representativos, a la vez que pretende hacer la evaluación en el escenario, cada vez más frecuente, de multitemporalidad y de uso de variables topo-climáticas o humedad y NDVI para la mejora de la clasificación.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El método de clasificación utilizado es una clasificación híbrida de imágenes de satélite y otras variables topo-climáticas sobre cartografía de cubiertas vegetales, diseñada para aumentar la bondad de las clasificaciones (Serra *et al.*, 2003; Moré *et al.*, 2004 y Pons *et al.*, 2005).

Las áreas de entrenamiento se obtienen del *Mapa d'Hàbitats de Catalunya*, y son sometidas a tratamiento estadístico para garantizar su calidad, y evitar así problemas de cambios de usos de cubiertas debidos a la dinámica temporal.

Para las **zonas forestales**, con el objetivo de medir el efecto de las variables topo-climáticas, se han considerado diversos escenarios: el escenario R usa sólo imágenes radiométricas mientras que el escenario RTC incluye además variables topo-climáticas. Para las **zonas de cultivos** se usa la humedad y el NDVI para mejorar la clasificación y por esto los escenarios definidos son: escenario R sólo con imágenes radiométricas y escenario RHN que usa además la humedad y el NDVI. Para ambos usos del suelo se analizan dos formatos de compresión: **JPG** y **JPEG2000** (que denominaremos **J2K**).

La medida de la compresión se ha realizado en base a las ratios de compresión (CR) y no a la calidad de la compresión (habitual en JPG) puesto que nos parece más relevante dada la evidente aplicación práctica de nuestra investigación. Debe tenerse en cuenta que una misma ratio de compresión puede suponer grados diversos de calidad en función del tipo de imagen (fragmentación espacial, tipo de datos, etc.). La ratio de compresión se define como la relación entre el tamaño del fichero comprimido y el original, es decir:

$$CR = \frac{\text{Tamaño Fichero Comprimido}}{\text{Tamaño Fichero Original}}$$

Las ratios de compresión utilizadas para cada escenario han sido: 100% (imagen sin comprimir), 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10%, 5% y 1%.

La bondad de las clasificaciones (con y sin compresión) se analiza en base a áreas de test (capa verdad-terreno) diferentes a las áreas de entrenamiento.

2.1 Áreas y escenas utilizadas

Se han escogido dos zonas de tamaño mediano con diferente grado de fragmentación espacial para cada uso del suelo. Todas ellas se han analizado usando imágenes Landsat.

La primera área forestal es la zona de la Garrotxa (1264x1264 píxeles de 20x20m, 50179 ha sobre cubiertas forestales) y se analizó usando las imágenes de las fechas: 12-03-2003, 26-04-2002, 13-06-2002 y 16-08-2002. La segunda área sobre zonas forestales, más fragmentada, es la zona de Maresme-Vallès (3474x2323 píxeles de 20x20m, 146687 ha sobre cubiertas forestales), analizada con las imágenes: 12-03-2003, 13-06-2002, 26-07-2003 y 11-08-2003 (véase Fig. 1a).

En cuanto a las zonas de cultivos se ha seleccionado dos áreas de la región de Lleida. Las dimensiones de la primera área son 1517x1311 píxeles de 20x20m (53585 ha sobre cultivos) y las de la segunda, más fragmentada, son 1307x1059 píxeles de

20x20m (50099 ha sobre cultivos). Ambas zonas se han analizado usando las imágenes de las fechas 16-05-2004, 17-06-2004, 19-07-2004, 23-10-2004 y 08-11-2004.

Las imágenes se han corregido geoméricamente usando el método de Palà & Pons (1995) implementado en el módulo CorrGeom de MiraMon (Pons, 2002). La corrección radiométrica se ha realizado siguiendo el método de Pons & Solé-Sugrañes (1994) implementado en el módulo CorRad de MiraMon.

Sobre las imágenes originales (tras su ortocorrección geométrica y radiométrica) se aplica una máscara obtenida a partir del *Mapa de Cobertes del Sol de Catalunya* (Burriel *et al.*, 2002) para clasificar solamente las zonas forestales (véase Fig. 1b) o de cultivos.

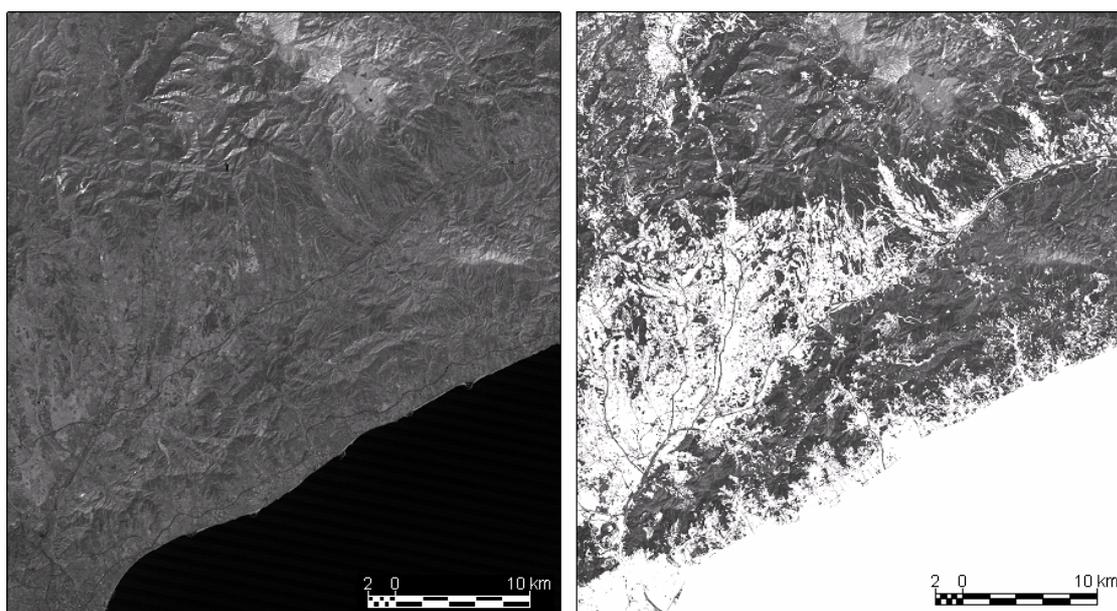


Figura 1: Banda IR cercano (11-08-2003) sobre la zona Maresme-Vallès: a) Imagen original (izquierda); b) Imagen tras aplicar la máscara de las zonas forestales (derecha).

(Fuente: elaboración propia)

2.2 Compresión y descompresión de imágenes

Los algoritmos de compresión/descompresión utilizados han sido la implementación de JPEG clásico de MiraMon 5.2 basada en las librerías públicas del JPEG (módulo JPEGIMG) y la implementación JPEG2000 del dEIC de la UAB (*software* BOI, Aulí-Llinàs *et al.*, 2005).

El formato de compresión JPEG usa imágenes de tipo *byte*, por este motivo se considera necesario ejecutar toda la batería de clasificaciones en este formato, de manera que las imágenes originales se transforman a éste formato usando un estiramiento lineal antes de realizar las clasificaciones.

2.2.1 Valor NODATA

Las imágenes originales presentan zonas sin datos (NODATA) debido a las correcciones radiométricas a que se han sometido y a la presencia de alguna nube (véase Fig. 2a).

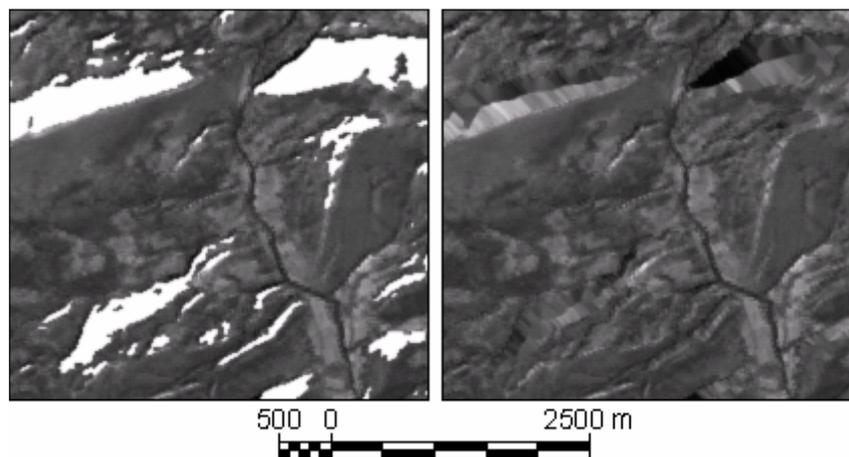


Figura 2: Banda IR cercano (12-03-2003) sobre la zona de la Garrotxa: a) Imagen original con valores NODATA, blanco (izquierda); b) Imagen sin valores NODATA, fagocitados (derecha)

(Fuente: elaboración propia)

No todos los programas de compresión/descompresión utilizados disponen por el momento de la consideración de estos valores NODATA y utilizarlos tal cual en la compresión puede generar errores crasos en las imágenes generadas. Por este motivo antes de la compresión también es necesario realizar una eliminación de estos valores en las imágenes. La eliminación se realiza mediante el módulo FagoVal de MiraMon, que elimina (fagocita) selectivamente un cierto valor en ficheros ráster, sustituyéndolo (en el presente caso) por la media aritmética los valores adyacentes (véase Fig. 2b).

Finalmente, es necesario realizar una máscara con las zonas NODATA en las imágenes originales para aplicar de nuevo esta máscara sobre la imagen después de la descompresión.

2.2.2 Compresión JPEG clásico y JPEG-2000

En el formato JPEG clásico se suele establecer la calidad del fichero JPEG resultante. Generalmente, y aun modificando la calidad, no es posible generar un fichero JPEG de un tamaño determinado (es decir cuya ratio de compresión respecto al fichero original sea un valor concreto). Por este motivo para cada escenario de compresión se ha escogido el fichero JPEG cuyo tamaño más se aproxime al necesario para obtener cada CR (exceso o defecto).

En el estándar JPEG2000 se contempla la posibilidad de generar una imagen resultante con un tamaño determinado. Por lo tanto es sencillo generar las imágenes comprimidas que cumplan una determinada ratio de compresión.

2.2.3 Descompresión y posterior tratamiento

Después de descomprimir las imágenes es necesario eliminar el valor 255 (futuro valor NODATA) asignándolo al valor inmediatamente inferior.

En segundo lugar se recuperan los metadatos de las imágenes (conservados sólo por algunas de las herramientas de compresión y descompresión) como el sistema de referencia, el tamaño de la imagen, su descripción, etc. Cuando es posible se mantienen los metadatos referidos a los procesos realizados sobre la imagen: eliminación del valor NODATA, compresión, reclasificación de valor 255, descompresión, etc.

Finalmente se aplica sobre cada imagen la máscara correspondiente a las zonas que eran NODATA en la imagen original. La máscara es diferente para cada una de las imágenes y otras variables.

2.3 Clasificación

2.3.1 Preparación de las áreas de entrenamiento

Se ha utilizado el *Mapa d'Habitats de Catalunya* para obtener las áreas de entrenamiento y de test. Esta cartografía identifica los hábitats basándose en la interpretación y adaptación propuesta por la Unión Europea en el “Manual de Biotopos de CORINE”.

Para garantizar el uso de áreas de entrenamiento con una máxima homogeneidad temática, se han seleccionado hábitats con una cobertura mínima del 80%. Para reducir el efecto del posicionamiento geográfico, estos polígonos han sido erosionados 60 metros a ambos lados de los límites (modulo BufDist de MiraMon). Este valor deriva de la escala cartográfica de la base, como debida a los errores inevitables en la delimitación de hábitats naturales (bordes borrosos).

Los polígonos erosionados son fragmentados en “píxeles” de 200 metros de lado algunos de los cuales serán usados para la clasificación y otros para la evaluación. Además se realiza un proceso de depuración de las áreas de entrenamiento y de test que usa como criterio la variabilidad interna de todas las zonas de la misma categoría.

2.3.2 Método de clasificación

La metodología de clasificación utilizada precisa de la estandarización de las variables utilizadas en la clasificación; este proceso se realizó para las zonas forestales. La clasificación híbrida posterior se realiza usando los módulos IsoMM y ClsMix de MiraMon (véase Fig. 3).

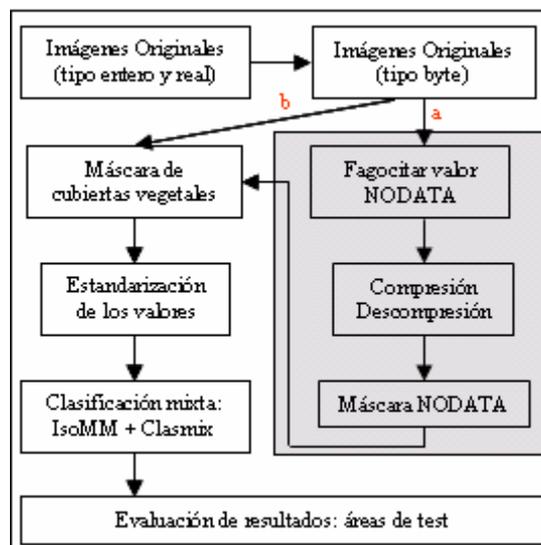


Figura 3: Esquema de la metodología utilizada: a) flujo de trabajo para las imágenes sin compresión; b) flujo de trabajo para las imágenes comprimidas.

(Fuente: elaboración propia)

IsoMM es una implementación de IsoData (Duda & Hart, 1973). IsoData típicamente agrupa píxeles de una escena a un centro de clase previamente especificado

con criterio de distancia mínima. Se calculan nuevos centros de clase los según píxeles incorporados en la fase anterior. El proceso se repite de manera iterativa hasta que las asignaciones de píxeles a centros de clase son suficientemente constantes o hasta que se alcanza un número predeterminado de iteraciones.

La segunda parte de la clasificación híbrida está basada en módulo ClsmMix de MiraMon, que reclasifica cada clase espectral de una imagen clasificada no supervisada en clases temáticas. Estas clases temáticas son definidas por un conjunto de áreas de entrenamiento.

La clasificación final se valida utilizando una matriz de confusión entre la imagen clasificada y las áreas de entrenamiento reservadas con este fin. En todos los escenarios (en función de CR, formato de compresión e imágenes utilizadas) se han utilizado los mismos valores en los parámetros de clasificación, es decir aquellos valores que maximizan la precisión en la clasificación de la imagen sin compresión.

3. RESULTADOS

Las figuras 4 y 5 muestran los resultados para las zonas forestales y de cultivos respectivamente. Para cada uso del suelo se han analizado dos sub-áreas. Para cada sub-área el gráfico superior muestra el porcentaje de área clasificada obtenido por las clasificaciones, mientras que el gráfico inferior muestra el acierto global, ambos en función de la ratio de compresión (CR). Los gráficos de las zonas menos fragmentadas (Garrotxa y Lleida A) están situados a la derecha.

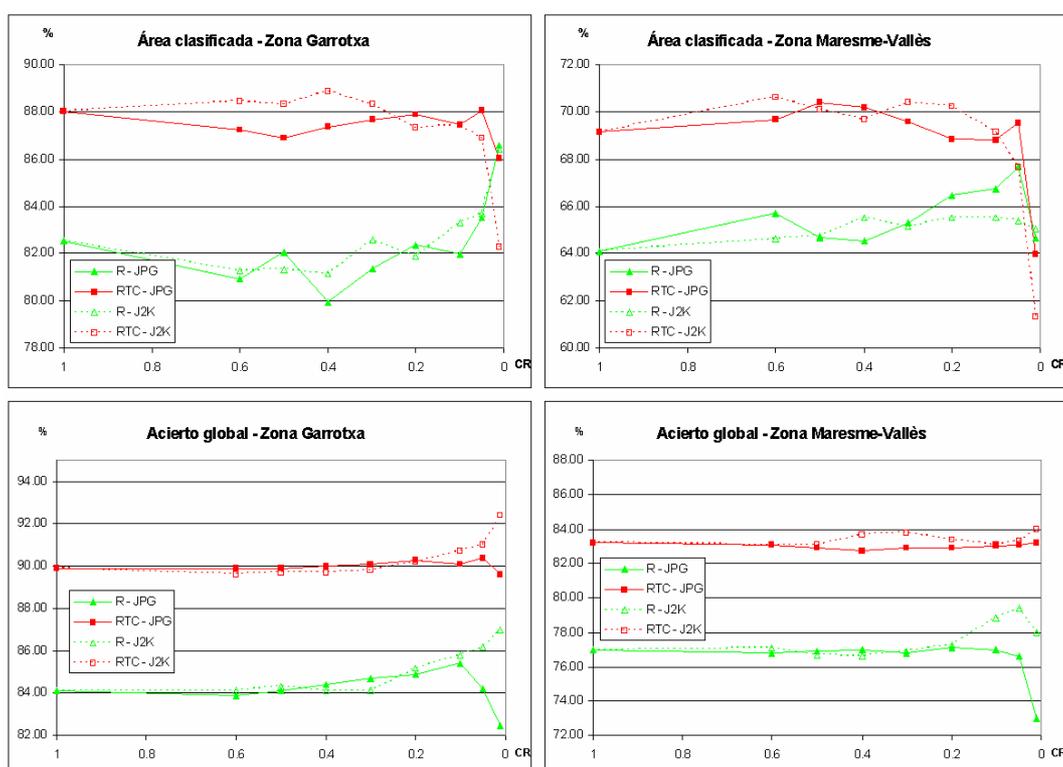


Figura 4. Resultados de las zonas forestales: Área clasificada (gráficos superiores) y Acierto global (inferiores) para Garrotxa (izquierda) y Maresme-Vallès (derecha) (Fuente: elaboración propia)

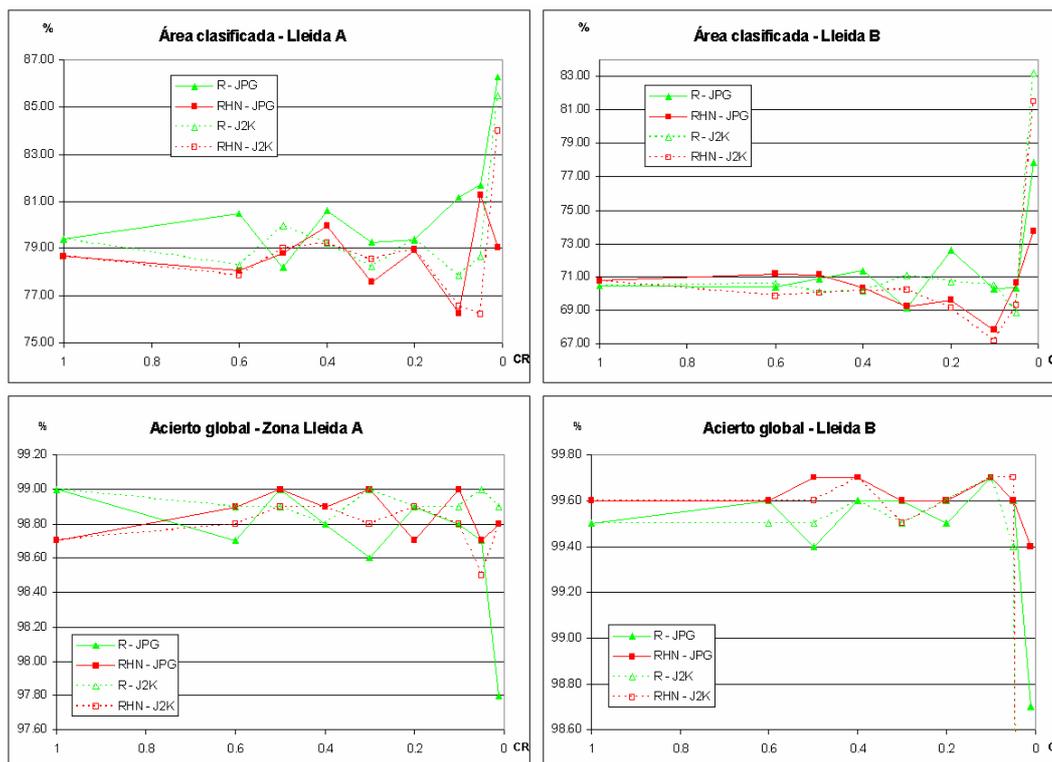


Figura 5. Resultados de las zonas de cultivos: Área clasificada (gráficos superiores) y Acierto global (inferiores) para Lleida A (izquierda) y Lleida B (derecha) (Fuente: elaboración propia)

En todos los gráficos en verde se muestran las clasificaciones que sólo incluyen radiometría (escenario R) mientras que en rojo se indican las clasificaciones que también incluyen otras variables (escenarios RTC y RHN). La línea continua indica el formato de compresión JPEG clásico y la línea discontinua el formato JPEG2000 (J2K).

Al disminuir CR, en el escenario R la tendencia es un aumento de la **superficie clasificada**, debido seguramente a una homogeneización beneficiosa en las imágenes. El aumento de superficie es menor para la compresión J2K (zonas forestales y de cultivos) y para las zonas de cultivos (JPG y J2K). En el escenario RHN (cultivos) el área clasificada también aumenta al disminuir CR. Sólo en el escenario RTC (zonas forestales) el área clasificada disminuye al disminuir CR. Esto parece indicar que la compresión afecta de manera más profunda a las variables topo-climáticas, quizá porque son más continuas.

Al disminuir CR, el **acierto global** crece en primer término pero se reduce para JPG a bajas CR, especialmente en el escenario R - JPG. En el escenario RTC – JPG o RHN – JPG la disminución del acierto existe pero es menor. Esta tendencia se observa para zonas forestales y de cultivos pero es más clara en las zonas forestales debido a la menor variabilidad de estos resultados. Por otra parte, para el formato J2K el acierto global parece aumentar sin límite para la zona de Garrotxa, pero no para la zona de Maresme-Vallès ni para las zonas de cultivos.

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones del trabajo apuntan a los siguientes escenarios óptimos de trabajo:

- **Escenario R – JPG** (línea verde continua en las figuras 6 y 7): CR 0.2-0.1 es óptimo para imágenes menos fragmentadas (Garrotxa y Lleida A) por ser el punto de acierto mayor (superior al de la imagen original) y porcentaje de superficie clasificada similar o poco menor para zonas forestales y acierto global un poco inferior pero mayor área clasificada para zonas de cultivos. Para imágenes más fragmentadas el CR óptimo se sitúa entre 0.1-0.05 para zonas forestales y 0.1 para cultivos.
- **Escenario R – J2K** (línea verde discontinua en las figuras 6 y 7): para imágenes menos fragmentadas no hemos alcanzado el límite CR óptimo para zonas forestales (en cualquier CR acierto y superficie clasificada aumentan). Para la zona de cultivos menos fragmentada el CR óptimo es 0.05-0.01 mientras que para las zonas más fragmentadas CR es 0.1 para cultivos y 0.05 para zonas forestales.
- **Escenario RTC/RHN – JPG** (línea roja continua en las figuras 6 y 7): para las imágenes menos fragmentadas el CR óptimo es 0.2 para zonas forestales y 0.05 para cultivos. Para zonas forestales los resultados son similares a los obtenidos con las imágenes si compresión. Para cultivos el área clasificada es mayor que la obtenida con las imágenes originales. En las imágenes más fragmentadas CR 0.5 tiene la mayor área clasificada y un acierto solo un poco menor para las zonas forestales, e incluso mayor que el original para las zonas de cultivos.
- **Escenario RTC/RHN – J2K** (línea roja discontinua en las figuras 6 y 7): para imágenes menos fragmentadas el CR máximo es 0.3-0.2 para zonas forestales y 0.4 para cultivos. Para zonas más fragmentadas CR óptimo es 0.3 para zonas forestales y 0.4 para cultivos.

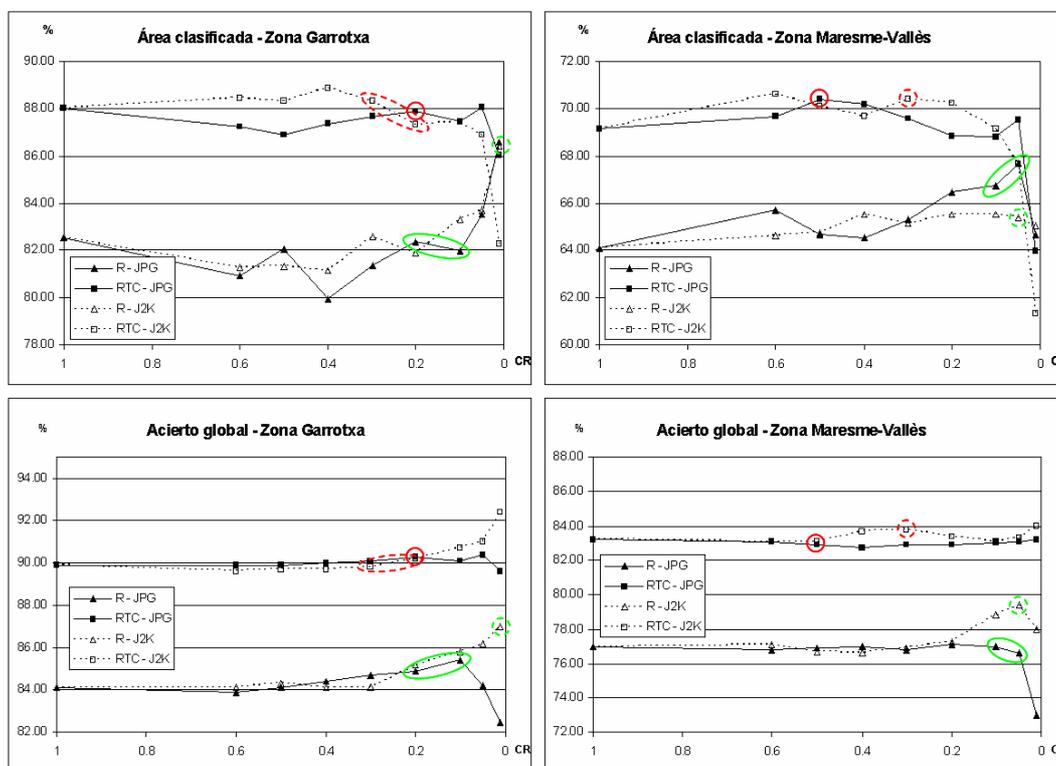


Figura 6. Situación del CR óptimo para las zonas forestales: Área clasificada (gráficos superiores) y Acierto global (inferiores) para Garrotxa (izquierda) y Maresme-Vallès (derecha) (Fuente: elaboración propia)

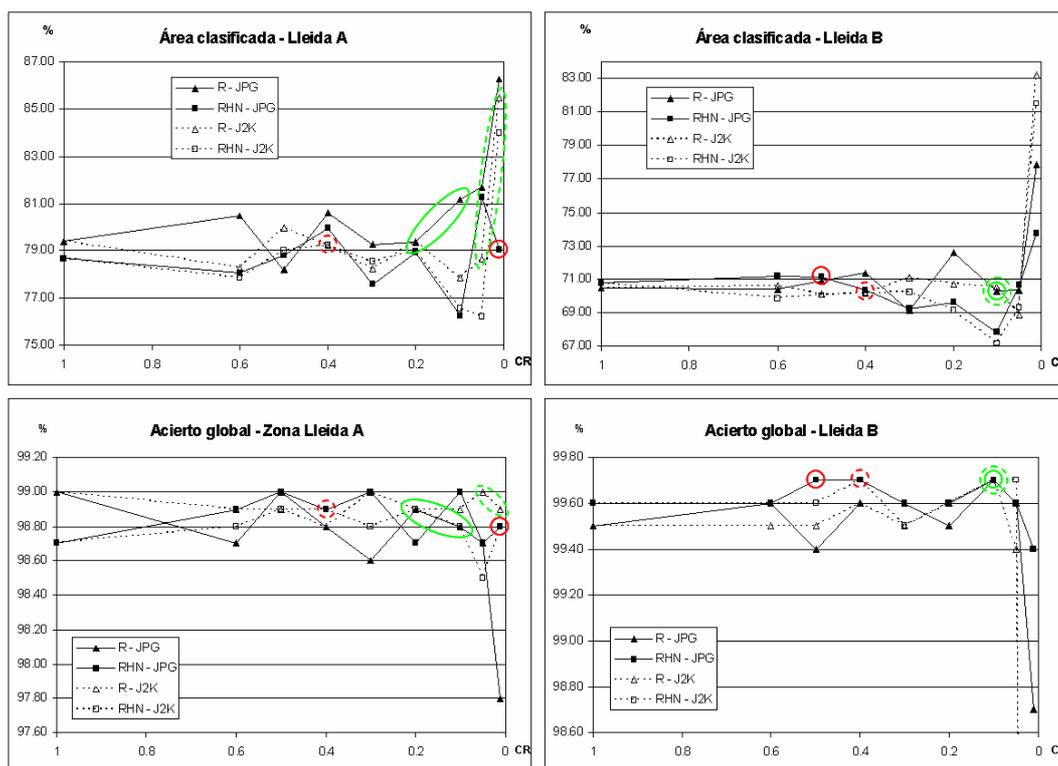


Figura 7. Situación del CR óptimo para las zonas de cultivos: Área clasificada (gráficos superiores) y Acierto global (inferiores) para Lleida A (izquierda) y Lleida B (derecha) (Fuente: elaboración propia)

Es importante destacar que de acuerdo con los resultados de las clasificaciones realizadas el formato J2K es mejor para zonas forestales pero no para zonas de cultivos. Sin embargo, de acuerdo a los efectos visuales, las clasificaciones obtenidas a partir de las imágenes comprimidas usando J2K tienen menor efecto “sal y pimienta” de manera que, desde un punto de vista cartográfico, J2K es más efectivo tanto para zonas forestales como para zonas de cultivos (véase Fig. 8).

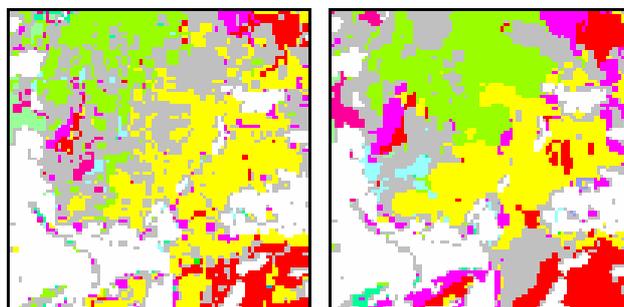


Figura 8. Detalle de clasificación (zona forestal): original (izquierda) y J2K - CR 0.01 (derecha) (Fuente: elaboración propia)

De acuerdo con los resultados presentados se puede establecer una tendencia general sobre la mayor sensibilidad de las zonas de cultivos a la compresión, por lo que es necesario preservar estas zonas de compresiones elevadas.

También es importante destacar que en las zonas limítrofes entre clases espectrales muy diferenciadas la compresión produce efectos de mezcla que comportan errores en dichas zonas. En la figura 9 se puede observar que en la clasificación J2K las zonas limítrofes entre la alfalfa (amarillo) y los cereales de invierno (azul oscuro) y el maíz (azul claro) se clasifican como árboles frutales (rojo).

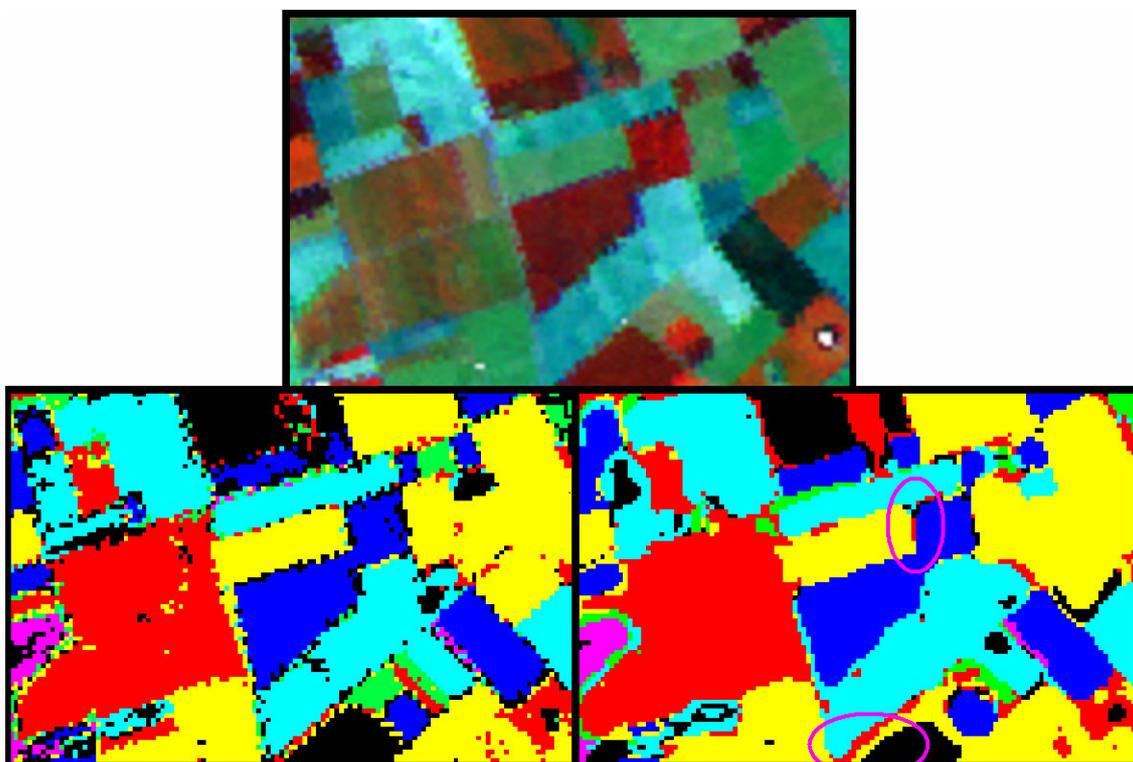


Figura 9. Efectos de frontera (zona cultivos): composición RGB bandas 4, 5, 3 (superior), clasificación original (izquierda) y clasificación J2K - CR 0.01 (derecha)
(Fuente: elaboración propia)

Estos efectos de frontera tendrán especial impacto en futuros estudios de cambios de usos del suelo que podrán ver enmascarados sus resultados por la clasificación errónea en las zonas limítrofes, hecho agravado por las casi inexistencia de áreas de test en tales zonas, de manera que no se ve reflejada la disminución del acierto global.

Futuros trabajos futuros deberán intentar definir mejor la relación entre CR y acierto global y área clasificada, especialmente para zonas de cultivos. El mismo objetivo se puede lograr estudiando precisión y resultados de área clasificados para conjuntos diferentes de clasificaciones que utilizan otros valores de los parámetros de clasificación. También se deberían ensayar otros métodos de estimación de la calidad de la clasificación.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo no hubiera sido posible sin la financiación aportada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y fondos FEDER mediante el proyecto de investigación: “Compresión *wavelet* de imágenes para aplicaciones de Teledetección y SIG. 4 implicaciones en el proceso digital de imágenes” (TIC2003-08604-C04-03). También deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Agència Catalana de l’Aigua y

al Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya por su política de inversión y disponibilidad de datos de Teledetección, la cual ha permitido abordar este estudio con plenas garantías. Asimismo, deseamos expresar nuestro agradecimiento a los compañeros del Departament de Geografia de la UAB y del CREAM que han colaborado de una manera u otra en el tratamiento de las imágenes y al INTA por su atento servicio de suscripción de imágenes. y Finalmente el agradecimiento al departamento de Enginyeria de la Informació i de les Comunicacions (dEIC) de la UAB por la ayuda con BOI, la herramienta de compresión y descompresión en formato JPEG2000 que han desarrollado.

BIBLIOGRAFÍA

- Aulí-Llinàs, F.; Paton, J.R.; Bartrina-Rapesta, J.; Monteagudo-Pereira J.L.; Serra-Sagrasta, J. (2005): "J2K: introducing a novel JPEG2000 coder", en SPIE, IST (Ed.): *Visual Communications and Image Processing. Society of Photo-optical Instrumentation Engineers (SPIE)*, Beijing, China.
- Burriel, J.A.; Ibáñez, J.J.; Pons, X. (2002): "El Mapa de Cubiertas del Suelo de Cataluña: Herramienta para la gestión y la planificación territorial", en Junta de Andalucía (Ed.): *Montes para la sociedad del nuevo milenio. III Congreso Forestal Español*. Granada, 3, 83-89.
- Duda, R.D.; Hart, P.E. (1973): *Pattern Classification and Scene analysis*. New York, John Wiley & Sons.
- ISO/IEC 10918-12 (1994): *Digital compressing and coding for continuous-tone still images*.
- ISO/IEC 15444-1 (2000): *JPEG 2000 image coding system - Part 1: Core coding system*.
- More, G; Burriel, J.A.; Castells, R.; Ibáñez, J.J., Roijals, X. (2004): "Tratamiento estadístico de variables radiométricas, orográficas y climáticas para la obtención de un mapa detallado de vegetación", en C. Conesa, Y. Álvarez, J.B. Martínez (Ed.): *Medio Ambiente, Recursos y Riesgos Naturales: Análisis mediante tecnología SIG y Teledetección*. 1, 261-273.
- Palà, V.; Pons, X. (1995): "Incorporation of relief into geometric corrections based on polynomials", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 61, N. 7, pp. 935-944.
- Paola, J.D; Schowengerdt, R.A (1995): "The effect of lossy image compression on image classification", en IGARSS '95 (Ed.): *Quantitative Remote Sensing for Science and Applications*. 1, pp. 118-120.
- Pérez, C.; Aguilera, D.; Muñoz, A. (2003): "Estudio de viabilidad del uso de imágenes comprimidas en procesos de clasificación", en R. Pérez Utrero, P. Martínez Cobo (Ed.): *Teledetección y desarrollo regional. X Congreso Nacional de Teledetección*. pp. 309-312.
- Pons, X.; Solé-Sugrañes, Ll. (1994): "A Simple Radiometric Correction Model to Improve Automatic Mapping of Vegetation from Multispectral Satellite Data", *Remote Sensing of Environment*, Vol 48, pp. 191-204.
- Pons, X. (2002): *MiraMon. Sistema d'informació Geogràfica i Software de Teledetecció*. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, CREAM, Bellaterra.

- Pons, X.; Moré, G.; Serra, P. (2005): “Clasificador para series de imágenes destinadas a la obtención de mapas detallados de vegetación y cultivos”, en Arbelo, M; González, A.; Pérez, J.C (Ed.): *Teledetección. Avances en la observación de la Tierra*. Tenerife, pp. 69-72.
- Serra, P.; Pons, X.; Saurí, D. (2003): “Post-classification change detection with data from different sensors. Some accuracy considerations”, *International Journal of Remote Sensing*, 24, 16, pp. 3311-3340.
- Tintrup, F.; De Natale, F.; Giusto, D. (1998): “Compression algorithms for classification of remotely sensed images”, en ICASSP '98. (Ed.): *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference*. Vol. 5, 1998, pp. 2565-2568.

