



Departament de Geografia
Universitat Autònoma de Barcelona

EFECTES DE LA COMPRESSIÓ **D'IMATGES EN LA GENERACIÓ** **DE CARTOGRAFIA TEMÀTICA**

**Avaluació en alguns casos de
classificació digital**

Treball de Recerca

Programa de Doctorat en Geografia

Doctorand: Alaitz Zabala

Director: Dr. Xavier Pons

Data: Juliol de 2006

En primer voldria agrair al Xavier Pons, director del Treball de Recerca, la seva dedicació i recomanacions, suggerències i ajuda.

Gràcies a en Gerard Moré i en Pere Serra, per l'ajuda en els mètodes de classificació i per les àrees d'entrenament, i a en Francesc Aulí per l'ajuda amb l'estàndard JPEG 2000 i amb l'aplicació BOÍ. També vull agrair l'ajuda de la resta de companys que m'han donat un cop de mà sempre que ho necessitat.

I, finalment, voldria citar el projecte d'investigació *"Compresión wavelet de imágenes para aplicaciones de Teledetección y SIG. 4 implicaciones en el proceso digital de imágenes"* (TIC2003-08604-C04-03), finançat pel Ministerio de Ciencia y Tecnología i fons FEDER, en el qual s'integra la recerca presentada.

ÍNDEX

Índex	1
1 Introducció	5
1.1 Imatges de Teledetecció i SIG.....	7
1.2 Problemàtiques associades a l'ús d'imatges de Teledetecció.....	8
1.3 Estat actual.....	9
2 Objectius	11
3 Material i mètodes	15
3.1 Introducció	17
3.2 Àrees i escenes utilitzades	18
3.2.1 Característiques generals.....	18
3.2.2 Zones forestals	20
3.2.3 Zones agrícoles.....	22
3.3 Compressió i descompressió d'imatges	24
3.3.1 Introducció	24
3.3.2 Valor NODATA	24
3.3.3 Compressió JPEG clàssica	25
3.3.4 Compressió JPEG 2000	26
3.3.5 Descompressió i posterior tractament.....	27
3.4 Classificació	28
3.4.1 Preparació de les àrees d'entrenament	28
3.4.2 Mètode de classificació	31
4 Resultats	35
4.1 Introducció	37
4.2 Zones forestals.....	37
4.2.1 Zona Garrotxa-Ripollès	37
4.2.2 Zona Maresme-Vallès	42
4.3 Zones agrícoles	43
4.3.1 Zona Segrià	43
4.3.2 Zona Pla d'Urgell	44
5 Discussió	47
5.1 Zones forestals.....	49

5.1.1	Escenaris només amb radiometria	49
5.1.2	Escenaris amb radiometria i variables topo-climàtiques.....	49
5.2	Zones agrícoles	51
5.2.1	Escenaris només amb radiometria	51
5.2.2	Escenaris amb radiometria i altres variables.....	52
5.3	Comentaris generals.....	53
6	Conclusions.....	61
7	Bibliografia	65
8	Annex: Publicacions realitzades	71
8.1	Publicacions en congressos nacionals	73
8.2	Publicacions en congressos internacionals.....	73
8.3	Publicacions en revistes nacionals	74
8.4	Publicacions en revistes internacionals.....	74

1 INTRODUCCIÓ

1.1 **IMATGES DE TELEDETECCIÓ I SIG**

Des del inici de la seva utilització, el 1915, la fotografia aèria es va convertir en una molt benvolguda font de dades per a totes les activitats relacionades amb el coneixement o la gestió del territori. Més tard, i gràcies als avenços en les telecomunicacions, l'aeronàutica i els sistemes sensors, va aparèixer l'observació espacial, que des d'inicis de la dècada de 1970 proporciona imatges periòdiques de la superfície terrestre. Els programes espacials de diferents països i agències internacionals han ajudat sens dubte a fer evolucionar la tecnologia fins al que avui es coneix com a Teledetecció (*Remote Sensing* en anglès), una poderosa eina per al control i monitoratge del territori i els recursos naturals, entre moltes altres aplicacions pràctiques (Chuvienco 2002).

En essència, la Teledetecció consisteix en l'extracció d'informació d'una àrea mitjançant sensors que capten la radiació emesa o reflectida en diferents longituds d'ona o bandes espectrals, i en el posterior tractament d'aquestes bandes. Aquestes bandes constitueixen un patró o signatura espectral del material que les ha emès o reflectit i permeten la seva identificació a través de sistemes de reconeixement de patrons radiomètrics o espacials. Depenent del nombre de bandes disponibles, es parla d'imatges multispectrals (nombre per sota d'una desena) i d'imatges hiperspectrals (nombre de l'ordre de desenes o centenars).

La Teledetecció proporciona, probablement, la més enorme font de dades de la qual la humanitat disposa sobre el planeta. I aquesta generació de dades continua creixent a un ritme vertiginós, no només perquè els satèl·lits existents segueixen enviant imatges, sinó també perquè es llancen nous satèl·lits, en molts casos capaços de generar encara més informació, bé sigui per augment de resolució espacial (el *QuickBird*, llançat a l'octubre de 2001 genera imatges de 60 cm de resolució espacial), de la resolució temporal (la segona generació de *Meteosat* proporciona imatges cada 15' enfront dels 30' del seu predecessor), o de la resolució espectral (el *Terra*, llançat a la fi de 1999, disposa d'informació en 36 bandes en el seu instrument MODIS, i ja es comença a parlar de sensors amb milers de bandes), etc. Com resulta fàcil intuir, aquest procés comporta enormes possibilitats d'aplicació, però també una important problemàtica de maneig de tota aquesta informació i una creixent necessitat de formats de compressió que permetin disminuir el volum de dades emmagatzemades sense disminuir significativament la qualitat de les imatges per a aplicacions posteriors.

A l'arrel de l'augment de generació i consum d'imatges no només es troba l'extraordinari camp d'aplicació de la Teledetecció en meteorologia, oceanografia, control de recursos naturals, etc., sinó que es troba també l'enorme explosió de l'ús de Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG o GIS). En efecte, encara que continua havent un relativament actiu camp d'investigació teòrica al voltant dels SIG, la seva utilització pràctica ha passat a ser totalment habitual en molts àmbits, fins al punt d'haver-se convertit en una eina imprescindible per a molts científics, planificadors i gestors dels diversos camps relacionats d'una manera o altra amb el territori (cartografia, ordenació del territori, gestió ambiental, etc.). Aquests usuaris de SIG utilitzen continuament imatges, bé sigui de forma directa (per exemple com fons de referència en forma d'ortofoto, o com base de processos de fotointerpretació per a generar cartografia temàtica) o indirecta (utilitzen mapes temàtics que en molts casos han estat obtinguts com resultat de processar les imatges de molt diverses maneres). En aquest context existeix una avidesa de

disponibilitat d'imatges de Teledetecció (percebudes, en molts casos, com superiors per la seva actualitat i detall a la cartografia convencional), amb creixents demandes quant a resolució espacial, radiomètrica, espectral i temporal. La integració i sinergia Teledetecció-SIG s'ha d'entendre tant per l'aproximació als SIG de les tècniques de Teledetecció (per exemple amb una creixent exigència d'una georeferenciació de les imatges cada vegada més rigorosa –ús de models orbitals, del relleu en els processos– que pràcticament no estava present en manuals de Teledetecció de fa més d'una dècada), com per l'ús de dades SIG en els processos de Teledetecció (obtenció de punts de control, veritat terreny per a validacions, etc., que anteriorment s'introduïen en el context de l'aplicació de Teledetecció sense extreure'ls de forma integrada de bases SIG).

1.2 PROBLEMÀTIQUES ASSOCIADES A L'ÚS D'IMATGES DE TELEDETECCIÓ

Com s'ha apuntat, un dels problemes de la Teledetecció és l'emmagatzematge i tractament de les imatges multi i hiperspectrals, majoritàriament a causa del gran volum de dades que representen. Per exemple, una zona de només 10 km d'ample per 10 km de llarg que hagi estat adquirida amb un sensor amb resolució de 1 m, utilitzant un total de 10 bandes amb una profunditat de 8 bits per banda suposa un total d'1 Gigabyte, és a dir, prop de dos CD-ROM d'emmagatzematge. Si estenem el nostre exemple de només 100 km² a tot Catalunya, les necessitats es tornen 72 vegades majors, i si demanem una resolució temporal mensual de les dades es tornen quasi 900 vegades majors per a un sol any. Encara que existeixen dispositius d'emmagatzematge de gran capacitat, l'accés a tals volums de dades és lent i costós. Evidentment, només el cost d'emmagatzematge d'una seqüència d'aquestes imatges suposa una inversió molt elevada en maquinari, tant per capacitat com per velocitat, i fa gairebé impracticable el seu intercanvi o difusió a través de la xarxa Internet. L'ús d'un sistema de compressió amb pèrdua que arribés a una raó de compressió de dos ordres de magnitud (entre 100:1 i 300:1, aproximadament) permetria reduir dràsticament tant el cost d'emmagatzematge com el temps de processat i transmissió. La tècnica consisteix a determinar quins elements d'informació de cada banda són rellevants per a la presa de decisions que es pretén (Landgrebe 2000). Per a això és necessari establir relacions espacials, referint-nos a un espai determinat pel nombre de bandes i la resolució en cadascuna d'elles.

Fins al moment no ha estat molt habitual en la comunitat de la Teledetecció l'ús de tècniques de reducció de dades, a causa del temor de descartar informació que pugui resultar important per a processos posteriors. Aquesta lògica preocupació de no perdre informació ha fet que l'Anàlisi de Components Principals (PCA) probablement sigui el mètode més utilitzat donat que la selecció d'informació es produeix sobre la base d'un criteri estadístic de retenció de variància (Lee *et al.* 1990). No obstant això, i donat el gran volum d'informació actualment disponible, sembla raonable insistir en la investigació en tècniques que permetin la reducció d'aquest volum, però combinades amb estudis que avaluïn adequadament les implicacions en la qualitat de la informació extreta i no només sobre la base d'una simple valoració subjectiva del seu aspecte visual.

1.3 ESTAT ACTUAL

La compressió no conservativa d'imatges és una de les tècniques de reducció de dades més potents. A partir de la seva aparició, el format JPEG (Wallace 1991, Pennebaker *et al.* 1993 i ISO/IEC 10918-12 1994) es va convertir en l'estàndard de facto per a la compressió d'imatges amb pèrdua. Aquest mètode es basa en una transformada discreta del cosinus (DCT) com primer pas del sistema de compressió; en segon lloc d'una quantització escalar uniforme i, finalment, una codificació per entropia mitjançant l'algorisme de Huffman. Aquest mètode, que només permet compressió amb pèrdua (fins i tot sol·licitant el 100% de qualitat), s'ha utilitzat durant més d'una dècada. Però l'aparició de noves tècniques, la majoria d'elles basades en la transformada *wavelet* (EZW, SPIHT), han generat la necessitat de definir i implementar un nou estàndard de compressió: el JPEG 2000 (Taubman & Marcellin 2002 i ISO/IEC 15444-1 2000), també basat en transformada *wavelet* i d'introducció relativament recent en Teledetecció. Aquest nou format no està encara implementat de forma completa: malgrat el "2000", aquest estàndard no ha estat perfectament definit fins a finals de l'any 2001, i queden encara moltes funcionalitats i requeriments per implementar. Cal destacar que, a diferència del format JPEG clàssic, el format JPEG 2000 incorpora també la possibilitat de realitzar compressió sense pèrdua, tot i que aquesta opció, com és d'esperar, no pot assolir raons de compressió tan elevades com en la compressió amb pèrdua.

El format JPEG 2000 ofereix nombrosos avantatges sobre el format JPEG clàssic (Aboufadel 2001 i Adams 2001): aquests estàndard suporta compressió amb i sense pèrdua d'una component (imatges en escala de grisos) o de diverses components (imatges en color o multispectrals, per exemple). D'altra banda, Permet assolir raons de compressió molt més elevades i, a més, permet recuperar imatges a diferents resolucions i mides a partir del mateix fitxer comprimit (JPEG només pot recuperar imatges a la resolució fixada). Un altre avantatge de JPEG 2000 és la seva capacitat de definir àrees d'interès (ROI, *region of interest* en anglès) que es comprimeixen en menor grau.

Més enllà de la pròpia definició d'un format que comprimeixi amb o sense pèrdua, no són gaire abundants les investigacions encaminades a definir numèricament la qualitat dels resultats basats en imatges comprimides, i, encara menys, en un entorn de Teledetecció i SIG.

En referència a la qualitat geomètrica i visual de la imatge després d'aplicar compressió no conservativa, Li *et al.* (2002) conclouen que amb compressions menors a 10:1 en format JPEG (raó de compressió de 0.10) la qualitat visual de la imatge és encara excel·lent i per això la pèrdua de qualitat és acceptable per a la majoria d'aplicacions fotogramètriques. En relació a aquesta línia d'investigació, els articles que avaluen l'efecte de la compressió amb pèrdua sobre la generació automàtica de Models Digitals d'Elevacions (MDE) arriben a conclusions similars. Lam *et al.* (2001) conclouen també que és possible utilitzar raons de compressió 0.10 en format JPEG sense efectes en la generació dels MDE i que la degradació de qualitat de la imatge és major com més gran és la riquesa textural de la imatge. D'altra banda, Shih & Liu (2005) realitzen un estudi similar a l'anterior però usant alhora el format JPEG i el JPEG 2000; i conclouen que aquesta pèrdua en la qualitat relacionada amb l'augment en la riquesa textural de la imatge és més acusada en el format JPEG que en el format JPEG 2000 i que, en totes les

mesures de qualitat de la imatge, el format JPEG 2000 obté millors resultats que el format JPEG clàssic, especialment a elevades raons de compressió.

Respecte a la qualitat temàtica de les classificacions obtingudes després d'aplicar compressió no conservativa, els resultats de les encara poques investigacions realitzades són relativament dispersos. Així, Paola & Schowengerdt (1995) suggereixen que es poden obtenir classificacions de qualitat (al voltant de 83% d'encert de la classificació a partir de la imatge comprimida respecte la classificació a partir de la imatge original) amb imatges comprimides amb una raó de 7.1:1 (raó de compressió de 0.14) o fins i tot major depenent del tipus d'imatge i del mètode de classificació emprat i usant el format de compressió JPEG clàssic. En la mateixa línia, Tintrup *et al.* (1998 i 1998b) obtenen un encert de 95% per a compressions menors, de 2.5:1 (raó de compressió de 0.4).

D'altra banda, el mateix estudi de Paola & Schowengerdt (1995) admet que encara que les classificacions mantenen l'aparença global, l'efecte de suavització (*smoothing effect* en anglès) té tendència a eliminar la majoria de detalls píxel a píxel. En la mateixa línia de resultats, les conclusions de l'estudi de Pérez *et al.* (2003) desaconsellen l'ús d'imatges amb compressió no conservativa en mètodes de classificació ja que comproven que s'obté un encert de només un 70%, en el millor dels casos i per a compressions de 6.16:1 (raó de compressió de 0.16).

Per la seva banda, l'extracció d'objectes homogenis a partir de les imatges (segmentació) és una tècnica molt menys estesa que la classificació però ja va ser proposada fa molts anys i respon a una interessant estratègia en l'obtenció de mapes categòrics (Kettig & Landgrebe 1975). La idea consisteix a realitzar una pre-classificació de la imatge en objectes espectralment homogenis abans d'abordar la classificació en si; una vegada realitzat el procés, la classificació s'aborda sobre la base d'aquests objectes en lloc de sobre la base de píxels. Els processos de compressió *wavelet* consideren el context espacial, pel que sembla interessant investigar els problemes i sinèrgies que puguin trobar-se quan s'apliqui segmentació a imatges sotmeses a compressió amb pèrdua. Kiema (2000) sosté que és possible comprimir les imatges fins una raó de 20:1 sense afectar negativament els resultats de la segmentació.

Així, el nombre de treballs que permeti contrastar la hipòtesi de si pot es utilitzar compressió no conservativa sense efectes importants sobre l'anàlisi visual o digital és encara massa escàs, i sovint els treballs presenten llacunes metodològiques importants. Com a exemple, l'estudi de Xu *et al.* (2003) utilitza una sola imatge pancromàtica d'Ikonos per a establir una classificació de només 9 categories i suggereix que és possible reduir el nombre de nivells de gris de la imatge fins 16 sense perjudicar el resultat de la classificació. No obstant això, com els propis autors apunten, aquestes conclusions, basades en una situació molt simplificada (1 banda i 1 data), són prematures ja que encara és necessari realitzar estudis amb un major nombre de bandes espectrals i amb imatges de diferents dates, diferents estratègies d'obtenció de la cartografia, etc.

2 OBJECTIUS

L'**objectiu** d'aquest Treball de Recerca és estudiar i quantificar els efectes de diferents tècniques de compressió no conservativa (amb pèrdua) en el tractament digital sobre imatges obtingudes per sensors remots, considerant diferents escenaris geogràfics i diferents nivells de compressió.

L'anàlisi dels efectes deguts a la compressió no conservativa de les imatges es portarà a terme mitjançant un disseny experimental de tres factors amb interacció. Els factors seran la tècnica de compressió, el tipus de paisatge i el grau de compressió amb pèrdua. El factor sobre el tipus de paisatge considera també la fragmentació espacial ja que segons Lam *et al.* (2001) i Shih & Liu (2005) l'augment de la riquesa textural té efectes important en els efectes de la compressió. Se seleccionaran diverses àrees de test, d'un mínim de 50 000 ha cadascuna, representatives de la diversitat geogràfica i paisatgística del país, que es distribuïran segons dos grans tipus de paisatge (forestal i agrícola).

Aquestes imatges seran sotmeses a compressió que comportarà una pèrdua d'informació variable. Els formats de compressió que s'avaluaran seran: 1/ JPEG clàssic i 2/ JPEG 2000 (basat en la transformada *wavelet*).

Cada ítem del banc de dades se sotmetrà a anàlisi digital per a quantificar la divergència en els resultats que suposa el treball amb imatges comprimides amb pèrdua. L'anàlisi dilucidarà, doncs, les implicacions per a la cartografia resultant de forma global, deixant per a posteriors estudis l'atenció als resultats en els diferents tipus de categories.

3 MATERIAL I MÈTODES

3.1 INTRODUCCIÓ

El mètode de classificació utilitzat és una classificació híbrida d'imatges de satèl·lit i altres variables topo-climàtiques sobre cartografia de cobertes vegetals, dissenyada per a augmentar la bondat de les classificacions (Serra *et al.* 2003 i Moré *et al.* 2004). A diferència d'altres metodologies de classificació, pretén aprofitar totes les possibilitats que ofereix la resolució temporal de les imatges de satèl·lit amb l'objectiu de poder augmentar el poder de discriminació de les cobertes vegetals amb comportaments fenològics diferenciats. En el procés de classificació s'inclouen també altres variables (climàtiques, orogràfiques, etc.) que poden contribuir a la diferenciació dels diversos tipus de vegetació.

Les àrees d'entrenament s'obtenen del *Mapa d'Hàbitats de Catalunya* (per les zones forestals) i de la informació sobre les *Declaracions Úniques Agràries* (DUN) facilitades pel Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya, DARP, (per les zones agrícoles) i són sotmeses a tractament estadístic per a garantir la seva qualitat, i evitar així problemes de canvis d'usos de cobertes deguts a la dinàmica temporal (vegeu apartat 3.4 per a més detalls).

Per avaluar l'efecte de la compressió sobre diferents paisatges s'ha realitzat l'estudi sobre zones forestals i agrícoles. També s'ha volgut avaluar l'efecte de les variables topo-climàtiques i, per aquest motiu, sobre **zones forestals** s'ha considerat diversos escenaris: l'escenari R usa només imatges radiomètriques mentre que l'escenari RTC inclou, a més, variables topo-climàtiques. Per a les **zones agrícoles** s'usa la humitat i l'NDVI per a millorar la classificació i per això els escenaris definits són: escenari R només amb imatges radiomètriques i escenari RHN que usa, a més, la humitat i l'NDVI (vegeu apartat 3.4 per a més detalls). Per tots els escenaris s'analitzen dos formats de compressió: **JPG** i **JPEG 2000**, que denominarem **J2K**.

La mesura de la compressió s'ha realitzat sobre la base de les raons de compressió (CR) i no de la qualitat de la compressió (habitual en JPG) ja que aquella ens sembla més rellevant donada l'evident aplicació pràctica de la nostra investigació. Ha de tenir-se en compte que una mateixa raó de compressió pot suposar graus diversos de qualitat en funció del tipus d'imatge (fragmentació espacial, tipus de dades, etc.) però també és veritat que no hi ha un índex de qualitat nítidament admès com a universal i representatiu (tot i l'àmplia utilització del PSRN¹). La raó de compressió es defineix com la relació entre la grandària del fitxer comprimit i l'original, és a dir:

$$CR = \frac{\text{Mida Fitxer Comprimit}}{\text{Mida Fitxer Original}}$$

Generalment s'expressa en tant per u, o en tant per cent, multiplicant CR per 100. A vegades també s'usa per a descriure la raó de compressió la forma "<Mida fitxer original> : <Mida fitxer comprimit>". Així per exemple si un fitxer de 10 Mb es comprimeix fins a 2 Mb la seva raó de compressió serà de 0.20, 20% o 5:1.

¹ *Peak signal-to-noise ratio*: raó entre la màxima potència d'una senyal i la potència del soroll que afecta la fidelitat de la seva representació. Com que molts senyals tenen un rang dinàmic molt ampli generalment s'expressa en decibels.

Les raons de compressió utilitzades en aquest treball, per a cada escenari, han estat: 100% (imatge sense comprimir), 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10%, 5% i 1%, o sigui (1, 0.60, 0.50, 0.40, 0.30, 0.20, 0.10, 0.05 i 0.01). Aquests valors pretenen cobrir el rang útil des de la imatge original fins a la compressió que habitualment ja no és útil per extrema. Es va decidir prendre més mostres a partir d'una CR de 0.60 d'acord amb la literatura, havíem de trobar els efectes més interessants a partir d'aquest valor. D'altra banda, els treballs bibliogràfics amb imatges de teledetecció no passaven mai de CR 0.10 i, malgrat això ha semblat pertinent examinar l'efecte a mig ordre de magnitud dos cops (0.05 i 0.01).

La bondat de les classificacions (amb i sense compressió) s'analitza sobre la base d'àrees de test (capa veritat-terreny) diferents a les àrees d'entrenament.

3.2 ÀREES I ESCENES UTILITZADES

3.2.1 CARACTERÍSTIQUES GENERALS

S'ha escollit dues àrees de grandària mitjana amb diferent grau de fragmentació espacial per a cada tipus de paisatge: forestal i agrícola. La Figura 1 mostra la ubicació de les àrees d'estudi en el context del territori català.

Totes les zones s'han analitzat usant imatges del sensor ETM+ (satèl·lit Landsat-7 llançat el 15 d'abril de 1999) i del sensor TM (satèl·lit Landsat-5 llançat l'1 de març de 1994, sensor TM encara operatiu), segons la disponibilitat. El sensor ETM+ es va espatllar el 31 de maig de 2003 (error a l'*Scan Line Corrector*) i, per tant, les imatges usades abans d'aquesta data són ETM+ i les posteriors són TM. A la Taula 1 es mostren les característiques espectrals i la resolució espacial nominal d'aquests sensors.

Banda	Descripció	Longitud d'ona mínima	Longitud d'ona màxima	Sensor	Resolució espacial nominal
8-PAN	Banda 8: Pancromàtic	0.520 µm	0.900 µm	ETM+	15 m
1-B	Banda 1: Blau	0.450 µm	0.520 µm	ETM+ / TM	30 m
2-G	Banda 2: Verd	0.520 µm	0.600 µm	ETM+ / TM	30 m
3-R	Banda 3: Vermell	0.630 µm	0.690 µm	ETM+ / TM	30 m
4-IRp	Banda 4: Infraroig proper	0.760 µm	0.900 µm	ETM+ / TM	30 m
5-IRm1	Banda 5: Infraroig mitjà 1	1.550 µm	1.750 µm	ETM+ / TM	30 m
7-IRm2	Banda 7: Infraroig mitjà 2	2.080 µm	2.350 µm	ETM+ / TM	30 m
6-IRt	Banda 6: Infraroig tèrmic	10.400 µm	12.500 µm	ETM+ / TM	60/120 m
9-IRt_hg	Banda 9: Infraroig tèrmic (alt guany)	10.400 µm	12.500 µm	ETM+	60 m

Taula 1: Característiques espectrals i espacials dels sensors TM i ETM+ (satèl·lits Landsat-5 i Landsat-7 respectivament)²

² Dades extretes de la pàgina web "The Landsat Program", <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>.

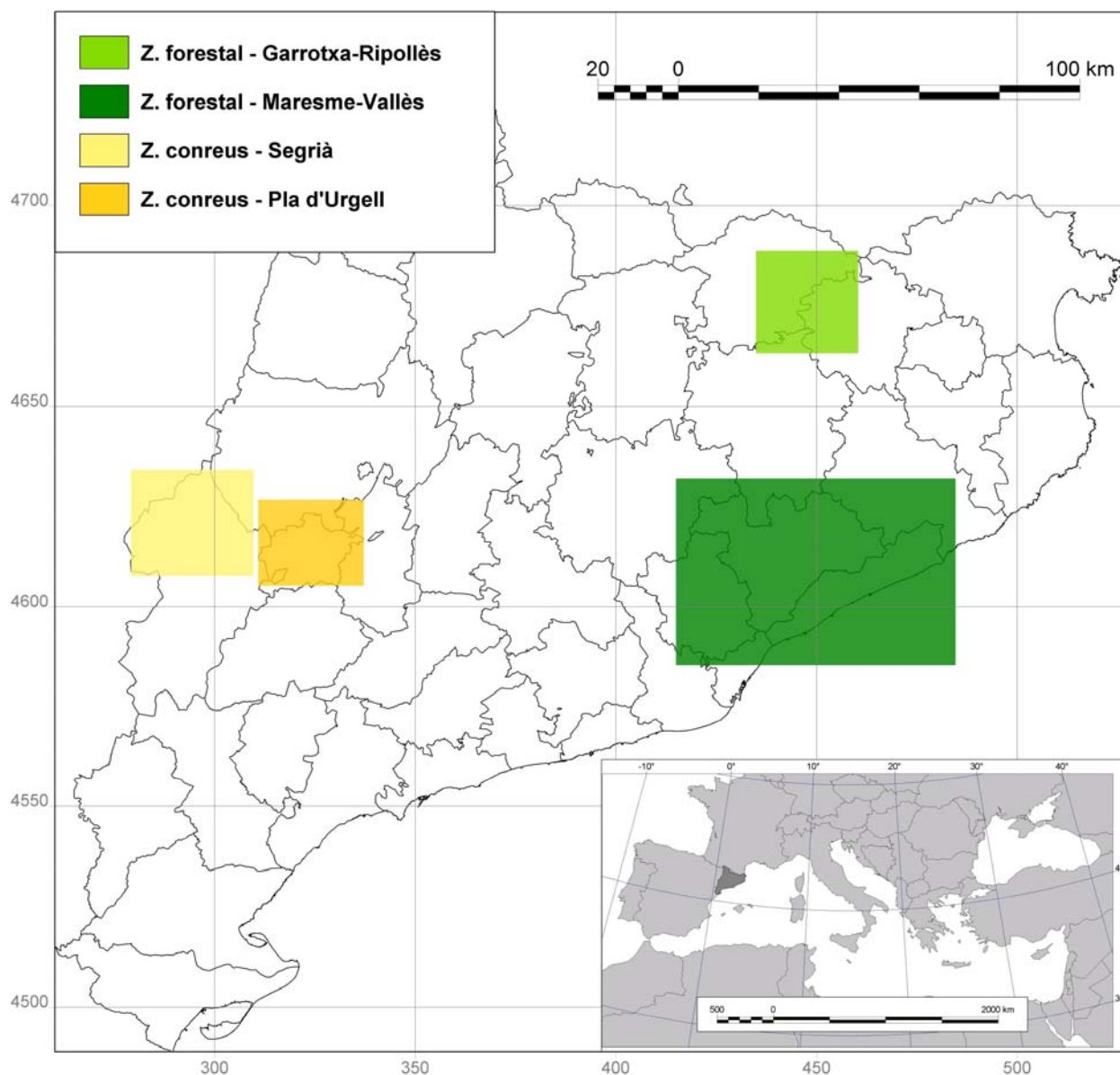


Figura 1: Situació de les zones utilitzades per a l'estudi³

El sensor ETM+ té major resolució espectral ja que disposa de dues bandes més que el sensor TM. Aquestes bandes són la banda pancromàtica i la banda tèrmica d'alt guany. Per a la classificació s'utilitzaran les bandes 1 a 5 i 7 dels dos sensors, de manera que aquests esdevenen equivalents.

Per a cada zona s'han escollit 4 o 5 imatges (dates) tenint cura que aquestes estiguessin distribuïdes al llarg de tot l'any per a treure profit de la diferent resposta espectral de les diferents cobertes al llarg del seus cicles fenològics anuals i poder augmentar així la capacitat de la classificació per a discriminar cobertes.

Totes les imatges s'han corregit geomètricament usant el mètode de Palà & Pons (1995) implementat en el mòdul CorrGeom de MiraMon (Pons 2002). La correcció radiomètrica s'ha

³ Totes les figures i taules que no indiquen la font de dades són d'elaboració pròpia.

realitzat seguint el mètode de Pons & Solé-Sugrañes (1994) implementat en el mòdul CorRad de MiraMon i validat a Salvador *et al.* (1996).

3.2.2 ZONES FORESTALS

La primera àrea forestal és la zona de la Garrotxa-Ripollès (1264x1264 píxels de 20x20m, 50179 ha sobre cobertes forestals) i es va analitzar usant les imatges de les dates: 12-03-2003, 26-04-2002, 13-06-2002 i 16-08-2002. La segona àrea sobre zones forestals, més fragmentada, és la zona de Maresme-Vallès (3474x2323 píxels de 20x20m, 146687 ha sobre cobertes forestals), analitzada amb les imatges: 12-03-2003, 13-06-2002, 26-07-2003 i 11-08-2003.

Les dues zones forestals es troben sobre la passada 197 i l'escena 31 de la imatge Landsat. La Figura 2 mostra la situació de les dues àrees d'estudi en zones forestals sobre una composició RGB d'aquestes imatges. Les coordenades UTM del fus 31 Nord que delimiten cada àrea són (X mínima, X màxima, Y mínima, Y màxima en metres): 434940, 460220, 4663440, 4688720 per la zona de la Garrotxa (vegeu exemple a la Figura 3) i 415020, 484500, 4585520, 4631980 per a la zona de Maresme-Vallès.

La delimitació de les dues zones es va realitzar a sobre una composició RGB de les imatges originals. La primera aproximació a la fragmentació (per a definir dues zones diferenciades) es va fer de manera visual, segons l'heterogeneïtat dels paisatges observats.

Com a indicadors de l'estructura del paisatge es va calcular l'índex de fragmentació (nombre de polígons entre nombre d'hectàrees total i entre nombre de cobertes) i la mida de gra (mida mitjana dels polígons). Aquests càlculs es van realitzar sobre la vectorització de la classificació obtinguda a partir de les imatges radiomètriques originals. Els polígons obtinguts per la vectorització es passen a grups de polígons usant un ciclat de nodes ja que es pretén que fenòmens que a la natura són una unitat però a la classificació han quedat com a píxels o grups de píxels independents que es toquen només per un vèrtex esdevinguin un sol polígon. Aquest procés en principi sembla que hauria de ser beneficiós pel càlcul de la fragmentació però en el cas dels les zones agrícoles, com es comentarà en el proper apartat, pot tenir un efecte inesperat. Els resultats d'aquests càlculs es mostren a la Taula 2.

	Garrotxa-Ripollès	Maresme-Vallès
Índex de fragmentació (N polígons / (N cobertes * ha))	0.3373 / 0.2250	0.4655 / 0.2965
Mida de gra (ha) (ha / N polígons)	0.2118 / 0.3174	0.1432 / 0.2249

Taula 2: Índex de fragmentació i mida de gra per a les zones forestals calculat a partir del nombre de polígons independents (esquerra) i del nombre de polígons ciclats com a grups (dreta)

La zona de la Garrotxa-Ripollès és, com s'esperava, una àrea menys fragmentada donat que té un menor índex de fragmentació i una major mida de gra (calculats tant a partir del nombre de polígons independents com a partir del nombre de polígons ciclats com a grups).

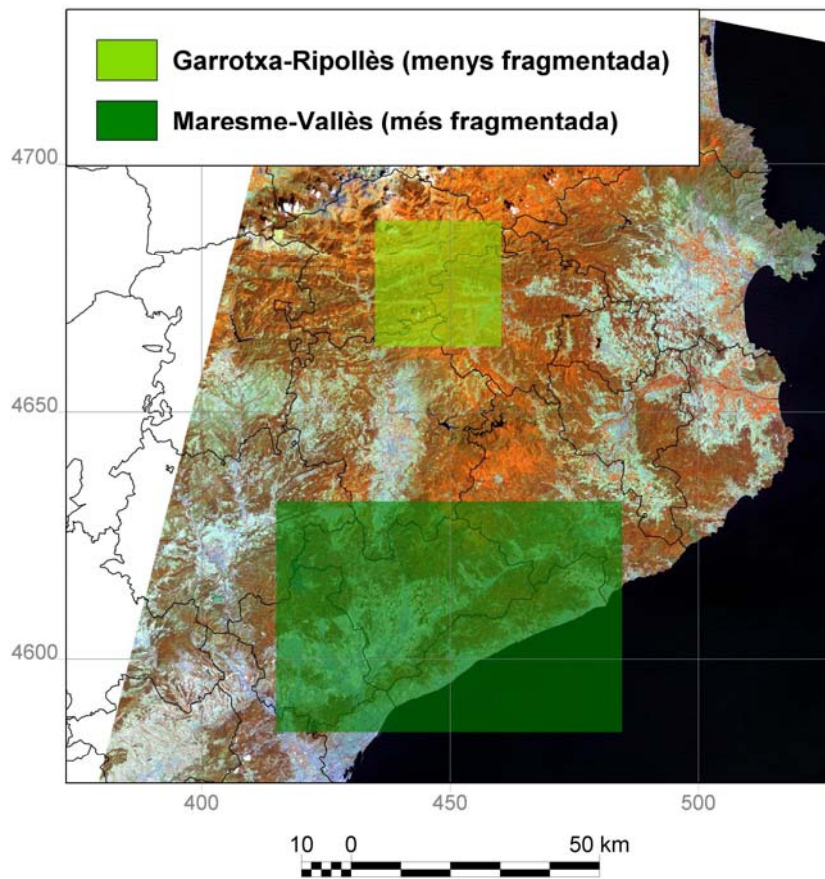


Figura 2: Situació de zones forestals sobre una composició RGB (4, 5, 3), imatge TM de l'11-08-2003

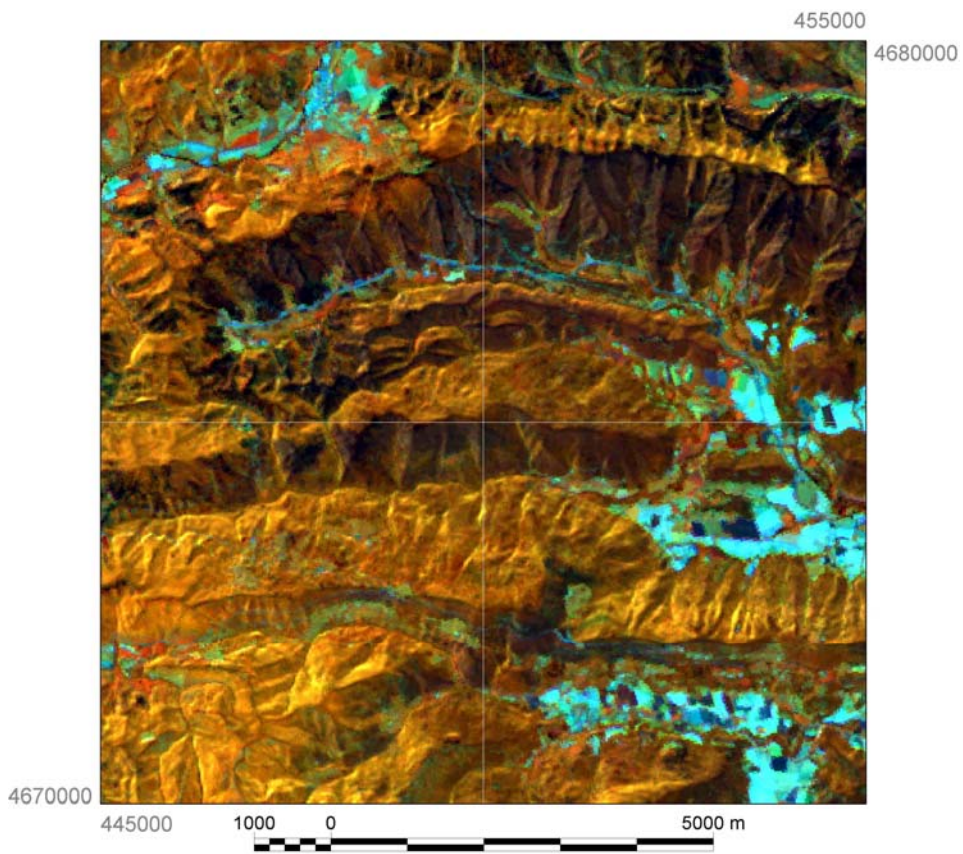


Figura 3: Garrotxa-Ripollès (fragment): composició RGB (4, 5, 3), imatge TM del 13-06-2002

3.2.3 ZONES AGRÍCOLES

La primera àrea agrícola és situada al Segrià (1517x1311 píxels de 20x20m, 53585 ha sobre cultius) i la segona, més fragmentada, és la zona del Pla d'Urgell (1307x1059 píxels de 20x20m, 50099 ha sobre cultius). Ambdues zones s'han analitzat usant les imatges de les dates 16-05-2004, 17-06-2004, 19-07-2004, 23-10-2004 i 08-11-2004.

Les dues zones agrícoles es troben sobre la passada 198 i les escenes 31 i 32 de la imatge Landsat. La Figura 4 mostra la situació de les dues àrees d'estudi en zones agrícoles sobre una composició RGB d'aquestes imatges (mosaic de les dues escenes). Les coordenades UTM del fus 31 Nord que delimiten cada àrea són (X mínima, X màxima, Y mínima, Y màxima en metres): 279260, 309600, 4607920, 4634140 per la zona de Segrià (vegeu exemple a la Figura 5) i 310950, 337070, 4605430, 4626590 per a la zona del Pla d'Urgell.

La delimitació de les dues zones es va realitzar també a sobre una composició RGB de les imatges originals. La primera aproximació a la fragmentació (per a definir dues zones diferenciades) es va fer de manera visual, segons l'heterogeneïtat dels paisatges observats.

Es van calcular els mateixos indicadors de l'estructura del paisatge que en el cas forestal. Els resultats d'aquests càlculs es mostren a la Taula 3.

	Segrià	Pla d'Urgell
Índex de fragmentació (N polígons / (N cobertes * ha))	0.3986 / 0.2760	0.4004 / 0.2635
Mida de gra (ha) (ha / N polígons)	0.4184 / 0.6038	0.4163 / 0.6326

Taula 3: Índex de fragmentació i mida de gra per a les zones agrícoles calculat a partir del nombre de polígons independents (esquerra) i del nombre de polígons ciclats com a grups (dreta)

En aquest cas els índexs de fragmentació ens indiquen tendències contradictòries segons si es calculen sobre la base de polígons obtinguda directament de la vectorització o de la base de polígons ciclada com a grups per nodes. Segons els índexs calculats a partir dels polígons independents, la zona de Segrià és lleugerament menys fragmentada que la del Pla d'Urgell (que és la pretensió inicial). D'altra banda, en els índexs de fragmentació calculats a partir del nombre de polígons ciclats com a grups aquesta situació s'inverteix i semblaria que la zona del Segrià és la més fragmentada. En qualsevol cas les diferències entre els índexs de les dues zones són molt minses. Aquesta situació es deu segurament al fet que en un paisatge aparentment força fragmentat (vegeu Figura 17) la classificació final fa que molts polígons que són contigus per una cantonada esdevinguin un sol polígon en la base de grups tot i que, en aquest cas, segurament caldria mantenir-ho separat per a evitar perdre part de l'apreciació sobre la complexitat del paisatge.

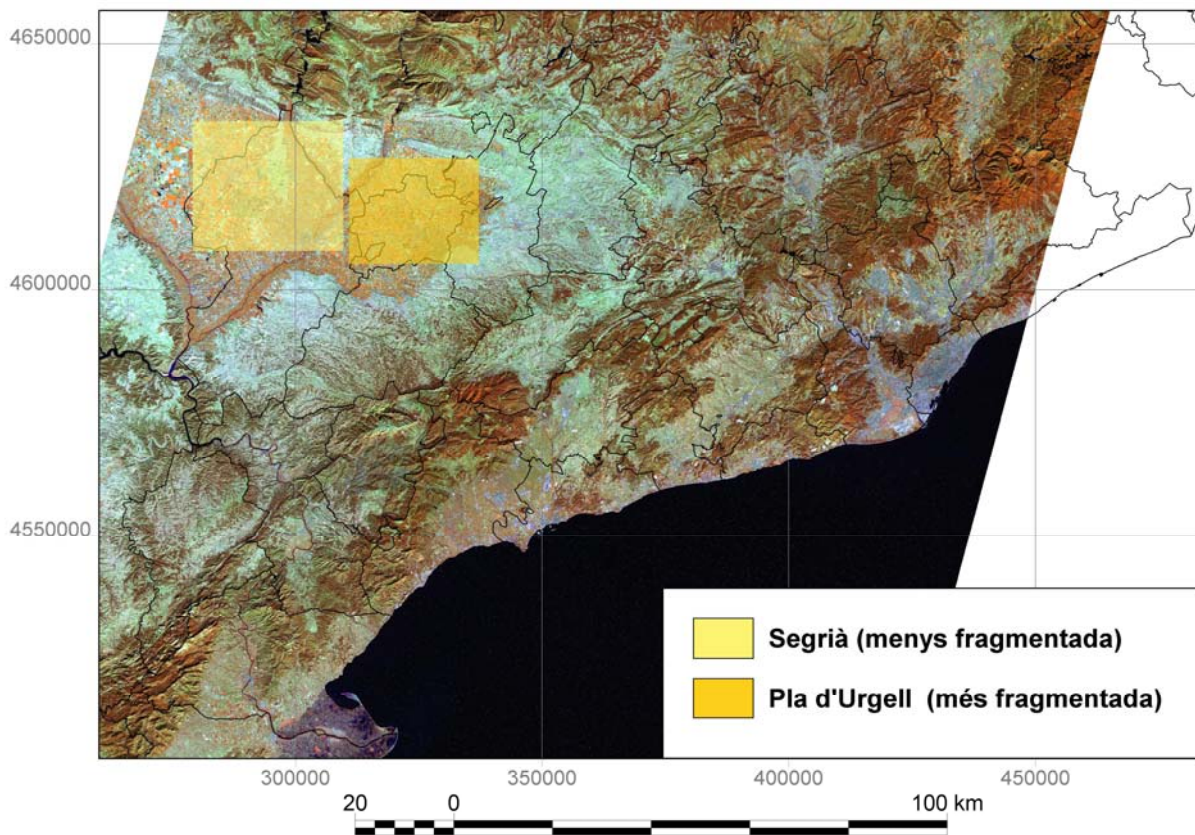


Figura 4: Situació de zones agrícoles sobre una composició RGB (4, 5, 3) de la imatge TM del 17-07-2004

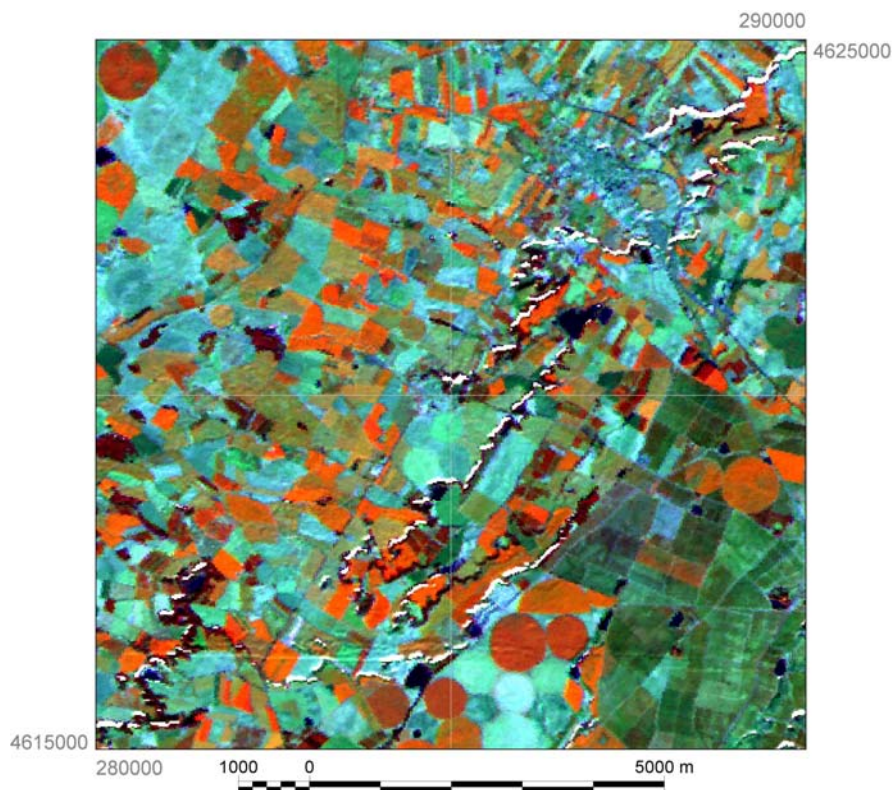


Figura 5: Segrià (fragment): composició RGB (4, 5, 3), imatge TM del 11-08-2004

3.3 COMPRESSIÓ I DESCOMPRESSIÓ D'IMATGES

3.3.1 INTRODUCCIÓ

Els algorismes de compressió/descompressió utilitzats han estat la implementació de JPEG clàssic de MiraMon 5.2 (mòdul JPEGIMG) basada en les llibreries públiques de JPG de l'*Independent JPEG Group* (IJG 1998) i la implementació BOÍ de l'estàndard JPEG 2000 del departament d'Enginyeria de la Informació i de les Comunicacions (dEIC) de la Universitat Autònoma de Barcelona.

El format de compressió JPEG usa imatges de tipus byte (8 bits/píxel i per banda espectral), i per aquest motiu hem considerat necessari executar tota la bateria de classificacions en aquest format, de manera que les imatges originals es transformessin a aquest format usant un estirament lineal abans de realitzar les classificacions.

Aquest estirament lineal es realitza de manera que s'assigna el valor mínim real de la imatge original al valor mínim teòric de la imatge de sortida, i el valor màxim de la imatge original al valor màxim teòric de la imatge de sortida. Aquest sistema té l'avantatge que aprofita al màxim el rang de la imatge resultant ([0, 254], 255 reservat pel NODATA) per a descriure el rang real de la imatge original (per exemple [-23, 52] per a la banda de temperatura mínima a l'abril, en dècimes de grau, a la zona forestal de la Garrotxa-Ripollès). Això és important en aquest cas en què cal passar imatges de rang enter o real a imatges de tipus byte ja que aquest canvi de format ja penalitza prou la precisió de les dades inicials. El problema d'aquest tipus d'estirament és que la imatge de sortida perd el sentit físic original.

El format JPEG 2000 permet comprimir també imatges d'enters llargs (2 bytes/píxel i per banda espectral) però no considera la possibilitat de comprimir imatges en format real (la part 10 de l'estàndard que tracta d'aquest tipus de dades no ha estat encara aprovada). La implementació BOÍ té un mode no estàndard per a comprimir aquest tipus d'imatges, usant capçaleres pròpies i que es basa a fer un pre-procés de les imatges per a obtenir una imatge d'enters. Hi ha diferents mecanismes per realitzar aquesta conversió, que sempre perd precisió. Aquest pre-procés és anomenat a les capçaleres i s'aplica a la imatge d'enters obtinguda en la descompressió per a obtenir la imatge de reals.

3.3.2 VALOR NODATA

Les imatges originals presenten zones sense dades (NODATA) degut a les correccions radiomètriques a què s'han sotmès i a la presència d'alguns núvols (i les seves ombres) (vegeu Figura 6a).

No tots els programes de compressió i descompressió utilitzats disposen de moment de la consideració d'aquests valors NODATA. Utilitzar-los directament a la compressió pot generar errors greus en les imatges generades (especialment si el valor utilitzat per a marcar les zones sense dades és un valor extrem al rang de dades que la imatge permet). Per aquest motiu, abans de la compressió, també és necessari realitzar una eliminació d'aquests valors a les imatges. Totes les imatges a comprimir es troben en format byte, és a dir que el rang de valors

teòric de les imatges és 0-255. El valor usat per a descriure les zones sense valors (amb NODATA) és el valor 255.

L'eliminació del valor del NODATA (255) es realitza mitjançant el mòdul FagoVal de MiraMon, que elimina (fagocita) selectivament un valor donat a fitxers ràster, substituint-lo (en aquest cas), per la mitjana aritmètica dels valors adjacents (vegeu el resultat d'aquesta fagocitació a la Figura 6b).

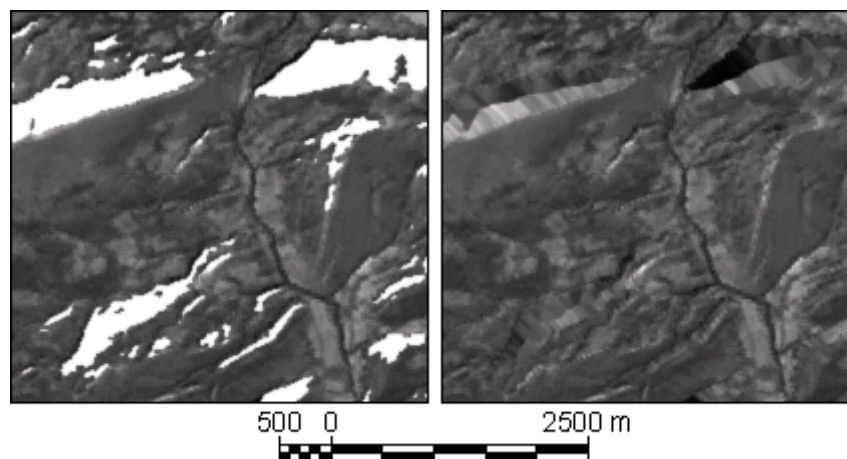


Figura 6: Banda IR proper (12-03-2003) sobre la zona de la Garrotxa-Ripollès: a) Imatge original amb valors NODATA en blanc (esquerra). b) Imatge sense valors NODATA, fagocitats (dreta).

Finalment, és necessari realitzar una màscara amb les zones NODATA a les imatges originals per tal de poder aplicar-la de nou sobre cada imatge després de la descompressió.

3.3.3 COMPRESSIÓ JPEG CLÀSSICA

El format JPEG permet comprimir una o tres bandes, generant un fitxer de grisos o de color (així com generar un fitxer de grisos a partir de tres bandes). En relació a les imatges a utilitzar en aquest estudi, que tenen 6 bandes per cada data (imatges radiomètriques), es decideix comprimir cada banda independentment.

El format de compressió JPEG es basa en una transformada discreta del cosinus (DCT) com primer pas del sistema de compressió; en segon lloc es duu a terme una quantització escalar uniforme i, finalment, una codificació per entropia mitjançant l'algorisme de Huffman. L'algorisme DCT comprimeix la imatge en blocs de 8x8 píxels i els desa de manera consecutiva al fitxer. Cada bloc es comprimeix de manera independent sense cap referència als blocs adjacents, de manera que a elevades raons de compressió l'efecte en blocs esdevé força visible.

Al format JPEG clàssic se sol establir la qualitat del fitxer JPEG resultant. Generalment, i encara que es modifiqui la qualitat sol·licitada, no és possible generar de forma directa un fitxer JPEG amb una mida determinada (és a dir la raó de compressió del qual sigui un valor determinat). Per aquest motiu, per cada escenari de compressió s'ha escollit el fitxer JPEG la mida del qual és més aproximada a la necessària per obtenir aquella raó de compressió (per excés o per defecte).

3.3.4 COMPRESSIÓ JPEG 2000

a) Característiques generals del format

JPEG 2000 és l'últim estàndard de compressió d'imatges dissenyat després dels requisits posats pel *JPEG 2000 Working Group* (ISO/IEC 15444-1 2000) (suport a components múltiples, bits per píxels variable per cada component, diferent tipus de progressió, suport a regions d'interès, correcció d'errors, etc.). Aquests requisits es van tenir en compte per desenvolupar un esquema de codificació nou amb un grau de flexibilitat que permet una molt bona parametrització de cada etapa de compressió, per tal que encaixés dins diversos escenaris de treball, per exemple pels usuaris de Teledetecció i SIG.

Aquesta elevada flexibilitat no només és relativa al format de compressió sinó també a la possibilitat d'accés a la imatge comprimida. El format de compressió té mecanismes per a accedir i extraure porcions de la "tira de bits" (*bitstream*) sense haver de descodificar tota la imatge.

Com es mostra a la Figura 7 l'esquema general de la compressió consta dels següents passos:

1. Pre-processament (*multi-component transform*): la codificació espera rebre un conjunt de dades aproximadament centrades en el zero i el pre-processament s'assegura que això sigui cert. En cas de dades sense signe (per exemple en format *byte*, el de les imatges usades en aquest estudi) es resta a cada valor 2^{P-1} on P és el nombre de bytes per píxel de la imatge (per exemple a les imatges en format *byte* es resta el valor 128 (2^6) a cada píxel). En els casos en què les tres primeres components de la imatge es corresponen a les bandes RGB es realitza una transformada de color (reversible o irreversible) per a passar a l'espai de color YCrCb (luminància, crominància respecte el verd i crominància respecte el vermell).
2. Transformada *wavelet* (*wavelet transform*): la transformada *wavelet* s'aplica sobre cada component generant un conjunt de sub-bandes de freqüència. El nombre de sub-bandes obtingudes depèn del nombre de nivells de transformada realitzats. Si es fa un sol nivell de transformada s'obtenen quatre sub-bandes. Per les seves propietats estadístiques, aquestes sub-bandes es poden codificar de manera més eficient que les dades originals. L'estàndard defineix una transformada reversible (que treballa amb enters) i una irreversible (que treballa en reals, no es pot desfer de manera exacta i per això és irreversible), que són les usades per a generar imatges comprimides sense o amb pèrdua (respectivament).
3. Quantització de coeficients (*quantization*): quan la transformada ha estat irreversible els valors obtinguts són reals i han de ser convertits a enters per a ser codificats. En cas de transformada reversible no és necessari realitzar aquesta quantització.
4. Codificació de les dades 1 (*tier 1 encoding*): codificació dels valors de les sub-bandes per a generar petits *codestreams*.
5. Codificació de les dades 2 (*tier 2 encoding*): generació del les capçaleres principals i de paquets i escriptura del fitxer comprimit. Cada paquet consta d'una capçalera (*header*) i de les dades codificades (*body*).

6. Control de distorsió (*rate control*): aquest procés necessita informació de la quantització, i els dos passos de codificació per a permetre escollir els millors *codestreams* per a ser classificats i ordenats a les capes de qualitat.

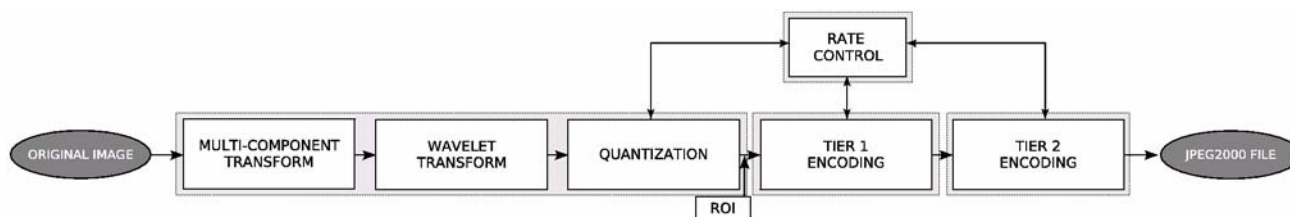


Figura 7: Esquema de compressió de l'estàndard JPEG 2000 (Font: Dept. d'Enginyeria de la Informació i de les Comunicacions (dEIC) de la Universitat Autònoma de Barcelona)

L'estàndard tracta sobre tres dominis diferenciats: el domini espacial (són les mostres, els píxels de les imatges d'entrada), el domini de la transformada (són els coeficients obtinguts després d'aplicar la transformada) i el domini de la imatge comprimida.

Les imatges a comprimir poden tenir diverses components (o bandes) que es codifiquen de manera independent en un mateix fitxer de sortida. Cada component pot ser dividida en diversos blocs rectangulars no superposats que s'anomenen rajoles (*image tiles*) i que també es poden comprimir de manera independent.

En relació a les imatges a utilitzar en aquest estudi, que tenen 6 bandes per cada data (imatges radiomètriques), es podria comprimir totes les bandes en un mateix fitxer de sortida o generar un fitxer de sortida diferent per cada banda. Per similitud amb el cas del format JPEG clàssic s'ha decidit comprimir cada banda de manera independent. Això pot perjudicar la compressió en tant que no és possible comprimir de manera diferent cada banda per a mantenir la màxima informació en conjunt.

Finalment, és important destacar que l'estàndard contempla la possibilitat de generar una imatge resultant amb una mida determinada. Per tant és senzill generar les imatges comprimides que compleixin una determinada raó de compressió.

b) Característiques de l'aplicació BOÍ

J2K és una implementació (Aulí-Llinàs *et al.* 2005) de la Part 1 de l'estàndard JPEG 2000. La motivació principal en aquest desenvolupament és generar un esquema completament modular. L'avantatge principal d'aquests mòduls independents és que un mòdul es pot reemplaçar sense comprometre els altres, alleujant les proves sobre processos concrets, l'extensió d'algunes operacions, i fins i tot la substitució d'algunes operacions de codificació.

3.3.5 DESCOMPRESSIÓ I POSTERIOR TRACTAMENT

Les imatges abans de la compressió tenen un rang teòric de valors de 0 a 254 ja que no hi havia cap píxel amb un valor de 255 perquè aquest valor (marca de NODATA) s'havia eliminat a través d'un procés de fagocitosi sobre els valors de la imatge.

En alguns casos, després de la descompressió i a causa de l'algorísmica de la compressió, apareixen alguns píxels amb valor 255. Aquests píxels no són píxels de NODATA sinó que són píxels el valor dels quals s'ha modificat esdevenint 255. Però aquest valor ha de ser reservat per als valors NODATA i, per tant, s'assigna a aquests píxels el valor immediatament inferior. Aleshores s'aplica a cada imatge la màscara corresponent a les zones que eren NODATA a la imatge original. La màscara és diferent per a cada una de les imatges i altres variables.

Finalment es recuperen les metadades de les imatges (conservades només per algunes eines de compressió i descompressió) com el sistema de referència, la mida de la imatge, la seva descripció, etc. Es mantenen o documenten les metadades referides als processos realitzats sobre les imatges: eliminació del valor NODATA, compressió, descompressió, reclasseficació del valor 255, etc. En tot el procés de documentació se segueix l'estàndard de metadades per a la informació geogràfica ISO 19115 (2003) i les ampliacions d'aquest estàndard contemplades pel perfil d'aquesta estàndard implementat al Gestor de Metadades de MiraMon. Aquest perfil amplia l'estàndard per a considerar algunes metadades sobre imatges no considerades a l'estàndard i altres aportacions pròpies (Zabala & Pons 2002, Julià *et al.* 2005), així com un model per a definir i heretar metadades de sèries i capes cartogràfiques (Zabala & Masó 2005 i Zabala *et al.* 2006).

L'esquema general dels processos realitzats durant la fase de compressió i descompressió d'imatges es mostra a la Figura 8.

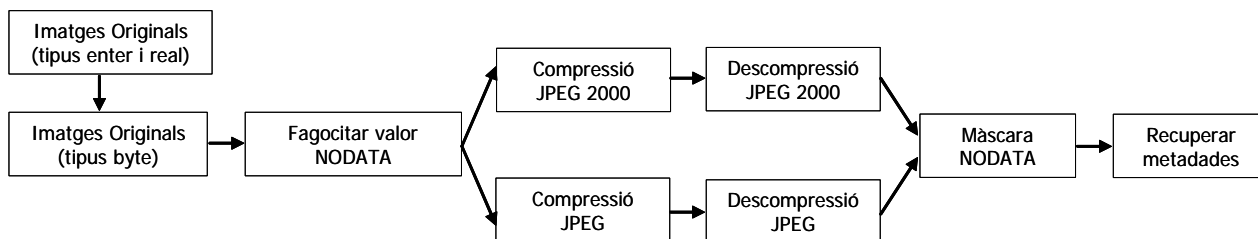


Figura 8: Esquema dels processos de compressió i descompressió de les imatges

3.4 CLASSIFICACIÓ

3.4.1 PREPARACIÓ DE LES ÀREES D'ENTRENAMENT

Per a obtenir les àrees d'entrenament i de test s'ha utilitzat el *Mapa d'Hàbitats de Catalunya* (MHC) per a les zones forestals i la informació sobre les *Declaracions Úniques Agràries* (DUN) facilitades pel Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya, DARP, per a les zones agrícoles. El Mapa d'Hàbitats de Catalunya identifica els hàbitats basant-se en la interpretació i adaptació proposada per la Unió Europea al "Manual de Biòtops del Corine", editat per la Comissió Europea l'any 1991 (CHC 1991). La Declaració Única Agrària consisteix en una declaració anual que ha de fer el titular d'una explotació agrària, per tal de tenir dret a les ajudes a les explotacions agràries provinents de la Política Agrària Comunitària (PAC).

Per garantir l'homogeneïtat temàtica de les àrees d'entrenament s'han seleccionat els hàbitats amb una cobertura mínima del 80%. Per a reduir l'efecte de la precisió en el posicionament

geogràfic, els polígons (provinents del MHC o de la informació de les DUN) han estat erosionats 60 metres a ambdós costats dels límits (mòdul BufDist de MiraMon). Aquest valor deriva de l'escala cartogràfica de la base (1:50000 per MHC, resolució espacial nominal de imatges Landsat 30 m) i dels errors inevitables a la delimitació dels hàbitats naturals (límits borrosos). A la Figura 9 es mostra la delimitació del Mapa d'Hàbitats (en groc) sobre una composició RGB (4, 5, 3) de la imatge ETM+ de l'01-04-2003.

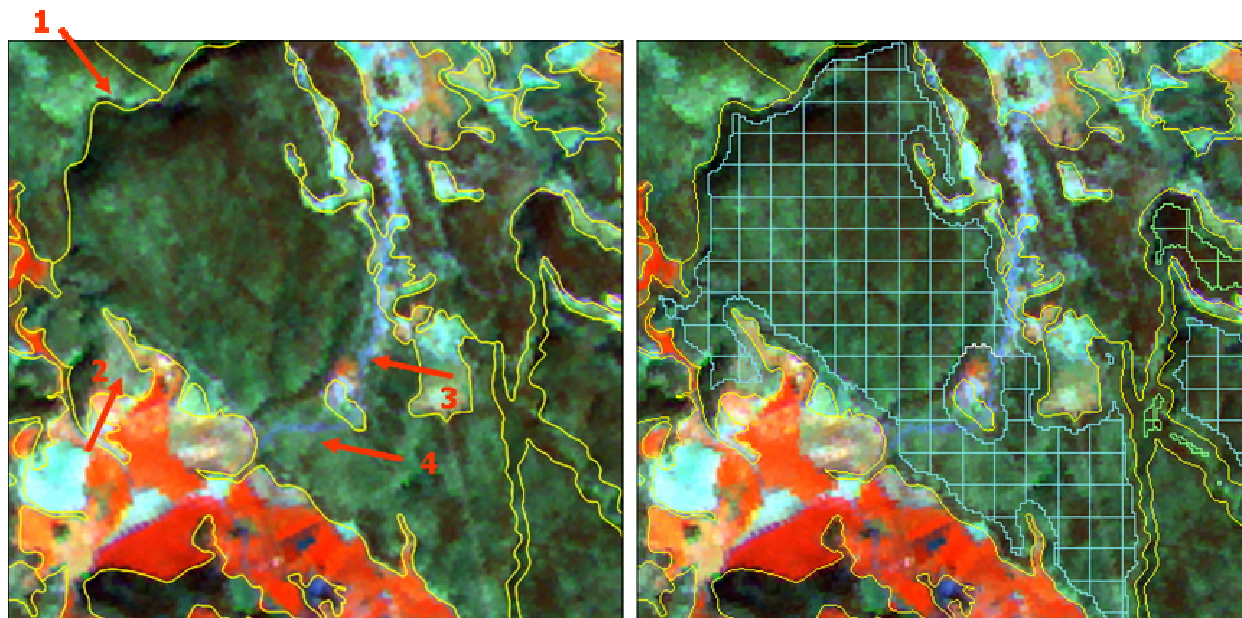


Figura 9: Mapa d'Hàbitats i àrees d'entrenament i de test obtingudes

La fletxa 1 indica zones en les que la delimitació del Mapa d'Hàbitats no coincideix amb la resposta radiomètrica de les zones i aquesta variació correspon a un o dos píxels de la imatge (remostrejada a 20 metres). A més, les altres fletxes també indiquen zones que al Mapa d'Hàbitats estan incloses en la categoria cartografiada (alzines), però sembla que clarament no n'han de formar part. Per exemple la fletxa 2 indica una zona que sembla ser un camp de conreu o una zona d'alzines talades.

Els polígons erosionats són fragmentats en quadrats de 200 metres de costat. Això permet que al mateix hàbitat alguns polígons siguin usant per a la classificació i altres per a l'avaluació. A més es realitza un procés de depuració de les àrees d'entrenament i de test que usa com a criteri la variabilitat interna de totes les zones de la mateixa categoria (Moré *et al.* 2004b). El procés consisteix a comparar cada polígon de cada categoria amb el valor patró de mitjana i desviació estàndard per aquella categoria, calculat fent la mitjana de les mitjanes i desviacions estàndard de tots els polígons d'aquella categoria.

Per a les zones forestals, la llegenda objecte de la classificació conté 20 categories, però no totes les categories són presents a les dues zones. La descripció de les categories prové del MHC però ha estat lleugerament modificada (per exemple la llegenda proposada agrupa algunes categories del MHC). La taula 4 mostra les dades de les classificacions (encert global, llistat de categories i àrea cartografiada) obtingudes per a les dues zones forestals a partir de les imatges sense comprimir i emprant només variables radiomètriques (escenari R, vegeu proper apartat per a més detalls).

	Garrotxa- Ripollès	Maresme- Vallès
Encert global (només els classificats)	89.90%	83.20%
ALZ: Alzinars (<i>Quercus ilex</i>)	6276.52 ha	10180.32 ha
CAS: Castanyedes (<i>Castanea sativa</i>)	-	419.12 ha
BCM: Boscos caducifolis mixts	251.40 ha	-
RMA: Rouredes de roure martinenc (<i>Quercus humilis</i>)	10138.84 ha	966.72 ha
RSE: Rouredes de roure sessiliflor (<i>Quercus petraea</i>)	-	59.44 ha
FAG: Fagedes (<i>Fagus sylvatica</i>)	7079.08 ha	2124.92 ha
FRE: Freixenedes (<i>Fraxinus sp.</i>)	400.04 ha	-
PIB: Pinedes de pi blanc (<i>Pinus halepensis</i>)	-	19752.20 ha
PIN: Pinedes de pi negre (<i>Pinus uncinata</i>)	189.36 ha	-
PIP: Pinedes de pi pinyer (<i>Pinus pinea</i>)	-	5834.84 ha
PIR: Pinedes de pi roig (<i>Pinus sylvestris</i>)	5992.96 ha	3369.96 ha
PSS: Pinedes de pinassa (<i>Pinus nigra</i>)	-	59.84 ha
PST: Pinedes de pinastre (<i>Pinus pinaster</i>)	63.44 ha	634.40 ha
SUR: Suredes (<i>Quercus suber</i>)	-	18003.64 ha
MME: Bosquines i matollars mediterranis i submediterranis	211.16 ha	19285.08 ha
MMU: Bosquines i matollars de muntanya i ambients frescals	2334.48 ha	2309.04 ha
PAM: Prats alta muntanya	749.00 ha	-
PAS: Prats acidòfils secs	751.44 ha	2309.04 ha
PBS: Prats generalment basòfils, secs	1510.00 ha	5423.16 ha
PPG: Prats de dall i pastures grasses	58.84 ha	-
Àrea cartografiada	36006.56 ha	88813.16 ha

Taula 4: Dades de les classificacions forestals originals (escenari R, imatges sense comprimir)

Per a les zones agrícoles, la llegenda objecte de la classificació conté 7 categories, totes presents a les dues zones d'estudi. La descripció de les categories prové de la informació de les parcel·les continguda a les DUN, però ha estat lleugerament modificada (per exemple la llegenda proposada agrupa algunes categories de les DUN o no considera altres, molt minoritàries). La taula 5 mostra les dades de les classificacions (encert global, llistat de categories i àrea total cartografiada) obtingudes per a les dues zones agrícoles a partir de les imatges sense comprimir i emprant només variables radiomètriques (escenari R, vegeu proper apartat per a més detalls).

	Segrià	Pla d'Urgell
Encert global (només els classificats)	98.7%	99.6%
Fruiters	12384.40 ha	6972.64 ha
Userda	10507.44 ha	9855.92 ha
Blat de moro	5156.32 ha	10884.16 ha
Cereals d'hivern	9785.76 ha	7110.52 ha
Oliveres	981.72 ha	316.16 ha
Vinyes	3742.32 ha	156.60 ha
Àrea cartografiada	42557.96 ha	35296.00 ha

Taula 5: Dades de les classificacions originals (imatges sense comprimir) sobre les zones agrícoles

3.4.2 MÈTODE DE CLASSIFICACIÓ

a) Mètode i consideracions generals

Sobre les imatges originals (després de la seva ortocorrecció geomètrica i correcció radiomètrica i compressió, si s'escau) s'aplica una màscara obtinguda a partir del *Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya* (Burriel *et al.* 2002) per a classificar només les zones forestals (vegeu Figura 10) o agrícoles (segons correspongui).

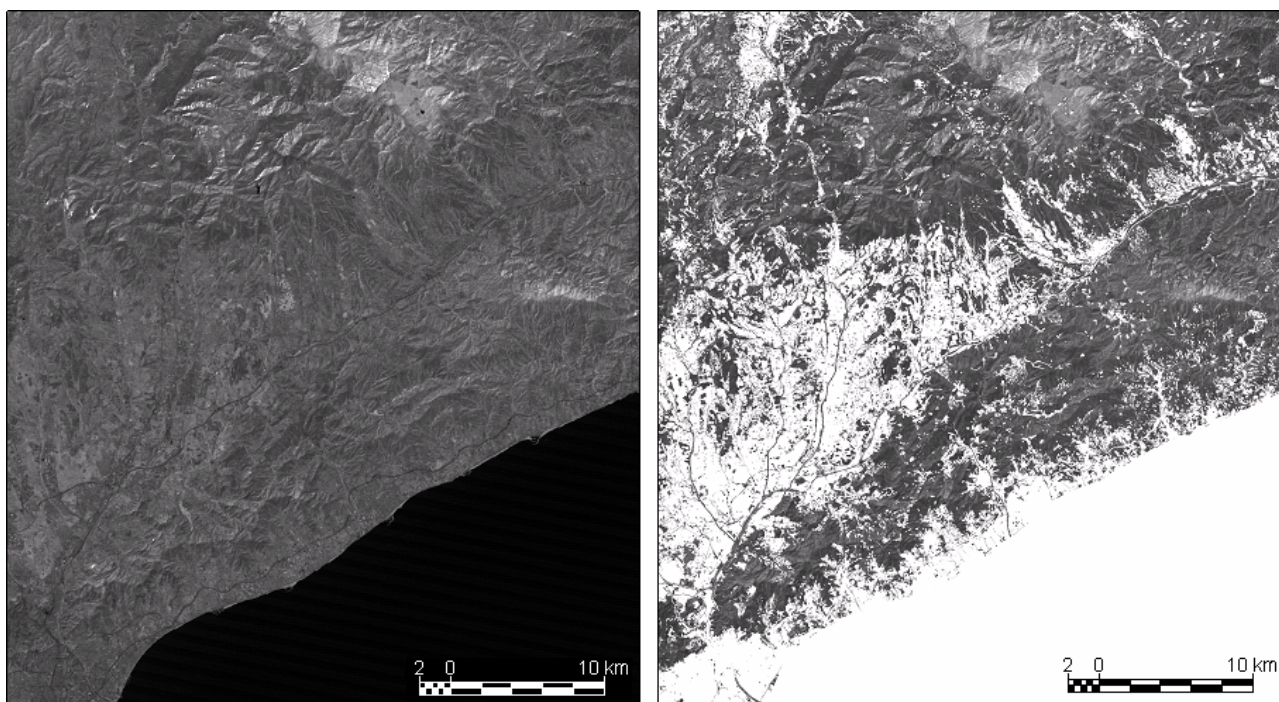


Figura 10: Banda IR proper (11-08-2003) sobre la zona Maresme-Vallès (fragment): a) Imatge original (esquerra). b) Imatge després d'aplicar la màscara de les zones forestals (dreta)

La classificació híbrida posterior es realitza usant els mòduls IsoMM i ClsMix de MiraMon (Moré *et al.* 2004b).

IsoMM es una implementació de l'algorisme IsoData (Duda & Hart 1973). IsoData típicament agrupa píxels d'una escena a un centre de classe prèviament especificat i ho fa amb criteri de distància mínima. Es calculen nous centres de classe segons els píxels incorporats a la fase anterior. El procés es repeteix de manera iterativa fins que les assignacions de píxels a centres de classes són suficientment constants o fins que s'arriba a un nombre predeterminat d'iteracions. El resultat és una imatge que agrupa els píxels de la imatge en classes estadístiques i un fitxer per cada categoria estadística amb les seves característiques.

La implementació IsoMM estableix tres maneres diferents de situar les llavors inicials. D'una banda permet introduir un determinat nombre de llavors sobre la diagonal multivariant de les dades, repartides de forma equidistant. D'altra banda, es permet introduir un altre grup de llavors de forma aleatòria en tot l'equip multivariant de la imatge. Finalment, permet obtenir llavors mostrejant regularment el territori. Aquesta implementació permet utilitzar diferents

nuclis classificadors (distància mínima, distància de Manhattan) i pot treballar amb un gran nombre de variables (fins 65536) en qualsevol format (byte, integer, real).

La segona part de la classificació híbrida està basada en el mòdul ClsMix de MiraMon, que reclassifica cada classe estadística (d'una imatge classificada no supervisada) en classes temàtiques. Aquestes classes temàtiques són definides a partir d'un conjunt d'àrees d'entrenament (vegeu punt anterior per a descripció de la seva obtenció). ClsMix utilitza bàsicament dos paràmetres per a realitzar la reclassificació. D'una banda, la *fidelitat* de la classe estadística a la classe temàtica, que és la mínima proporció amb què una classe espectral es troba dins de la classe temàtica a què finalment s'assignarà i que s'expressa en funció de la classe estadística. D'altra banda la *representativitat* de la classe estadística a la classe temàtica, que és la proporció de la classe estadística dins la classe temàtica en relació a la classe temàtica. El paràmetre fidelitat està relacionat directament amb els errors d'omissió de la classificació. La majoria de píxels que una categoria omet no es confonen amb altres categories sinó que romanen sense classificar. Com més alt és aquest paràmetre, més difícil és que un píxel es classifiqui a una determinada categoria.

La classificació final es valida utilitzant una matriu de confusió entre la imatge classificada i les àrees d'entrenament independents, reservades amb aquest objectiu. La matriu de confusió és una de les eines més usades per a quantificar l'exactitud temàtica (Foody, 2002).

Els escenaris que es volen considerar són l'escenari R i l'escenari RTC per a zones forestals i escenari R i escenari RHN per a zones agrícoles. Per a ambdós usos del sòl s'analitzen dos formats de compressió: JPG i JPEG 2000 (que denominarem J2K) i diversos nivells de compressió (CR 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10%, 5% i 1%). Per tant, el nombre total de classificacions realitzades és de 136: 8 classificacions per cada una de les quatre àrees d'estudi (2 forestals i 2 agrícoles), per cada dos format de compressió (JPEG i JPEG 2000) i per cada escenari (R i RTC-RHN) més les 8 classificacions de les imatges sense comprimir (1 per cada àrea de les quatre àrees d'estudi i els dos escenaris).

En totes les classificacions realitzades per la mateixa àrea i escenari s'han utilitzat els mateixos valors dels paràmetres de classificació: aquells que maximitzen l'encert en la classificació de la imatge sense compressió. Es va fer una bateria de proves per realitzar classificacions amb diferents valors als paràmetres de classificació, per cada un dels diferents escenaris i a partir de les imatges originals. Per a cada escenari s'escull un conjunt de valors de paràmetres idonis per aquella classificació. Aquest joc de paràmetres s'usa en totes les classificacions del mateix escenari.

b) Consideracions per les zones forestals

Per a zones forestals, la metodologia de treball precisa de l'estandardització de les imatges abans d'entrar a la classificació. Les variables introduïdes a la classificació de zones forestals quantifiquen diferents propietats físiques del terreny i, per tant, utilitzen diverses unitats per a representar-se. Això fa que les variables tinguin variàncies molt diferents entre si, fet que respon no a la seva variabilitat interna real sinó a la diversa magnitud que prenen les unitats amb què es representa cada imatge. És necessari, per tant, escalar o estandarditzar d'alguna manera les imatges si no es vol que aquest fenomen totalment irrellevant tingui una influència

excessiva als resultats de la classificació. Aquest mètode té el desavantatge que perd la informació física que ofereix cada una de les imatges. L'objectiu de l'estandardització és la transformació de totes les variables a un rang comú amb mitjana 0 i desviació estàndard determinada.

La distribució geogràfica de la vegetació està influenciada per condicions climàtiques (Moré *et al.* 2004). Per això el mètode de classificació emprat per a les zones forestals inclou totes les bandes de les imatges excepte la banda tèrmica i, a més, l'índex de vegetació NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*, per a mesurar l'activitat clorofil·lica), i variables climàtiques extretes de l'*Atlas Climàtic Digital de Catalunya* (Ninyerola *et al.* 2000, ACDC 2001) (precipitació mitjana, radiació mitjana anual, temperatura màxima al mes de juliol, temperatura mínima al mes d'abril i temperatura mínima al mes de gener) i orogràfiques (pendents). L'NDVI és l'índex de vegetació usat més habitualment i ha estat òptim en molts estudis per a obtenir informacions sobre els conreus (Lyon *et al.* 2003), essent considerant com un índex de verdor ja que és un estimador de l'activitat clorofil·lica.

Per a les zones forestals s'introdueixen al classificador no supervisat IsoMM 24 bandes en l'escenari R (imatges de 4 dates amb 6 bandes) i 34 bandes en l'escenari RTC (imatges de 4 dates amb 6 bandes, NDVI per cada data, pendents i 5 imatges amb informació climàtica).

c) Consideracions per les zones agrícoles

En les zones agrícoles (Serra *et al.* 2006) s'inclouen totes les bandes de les imatges excepte la banda tèrmica. A més, per tal de considerar l'activitat clorofil·lica i el contingut d'humitat dels conreus al llarg de l'any s'introdueix també l'índex de vegetació NDVI i la humitat TCW (*Tasseled Cap Wetness*) per a cada una de les imatges emprades. La transformació *Tasseled Cap* era, originàriament, una transformació lineal de les dades Landsat MSS que projectava la informació sobre sòls i vegetació a un sol pla dins l'espai de dades multispectral (Kauth & Thomas 1976). Aquesta aplicació es va estendre a les dades Landsat TM per Crist *et al.* (1986) que van trobar que les sis bandes radiomètriques ocupaven tres dimensions que definien els plans de sòls, vegetació i un tercer fenomen que anomenaven humitat (TCW) i que estava relacionada amb l'estat d'humitat del sòl i de la vegetació. Per aquestes zones no s'inclouen les variables orogràfiques ja que les zones agrícoles tenen un relleu molt suau i condicions climàtiques més homogènies, de manera que aquestes variables no influeixen de manera significativa en la capacitat de discriminar cobertes de conreus.

Per a les zones agrícoles s'introdueixen al classificador no supervisat IsoMM 30 bandes en l'escenari R (imatges de 5 dates amb 6 bandes) i 40 bandes en l'escenari RHN (imatges de 5 dates amb 6 bandes, NDVI i humitat per cada data).

d) Mides de fitxers

Les taules 6 i 7 indiquen les mides dels fitxers implicats en les classificacions basades en formats sense pèrdua (JPEG 2000 *lossless*) o quasi sense pèrdua (JPEG amb 100% de qualitat). Aquestes dades es posen només a títol informatiu.

Mida fitxer (bytes)	Garrotxa-Ripollès		Maresme-Vallès	
	R	RTC	R	RTC
Byte	38 344 704	54 321 664	193 682 448	274 383 468
JPG clàssic 100 %	26 061 846	33 822 582	116 015 844	150 289 998
JPEG 2000 lossless	30 212 999	39 548 974	96 779 727	125 198 065

Mida del fitxer (% respecte mida orig.)	Garrotxa-Ripollès		Maresme-Vallès	
	R	RTC	R	RTC
Byte	100.00	100.00	100.00	100.00
JPG clàssic 100 %	67.97	62.26	59.90	54.77
JPEG 2000 lossless	78.79	72.81	49.97	45.63

Taula 6: Mides dels fitxer utilitzats per a les classificacions en format sense pèrdua o quasi sense pèrdua en valor absolut (taula superior) i en valor relatiu respecte la mida del fitxer original (taula inferior) per a les zones forestals

Mida fitxer (bytes)	Segrià		Pla d'Urgell	
	R	RHN	R	RHN
Byte	59 663 610	79 551 480	41 523 390	55 364 520
JPG clàssic 100 %	41 455 540	56 289 370	30 285 398	41 266 082
JPEG 2000 lossless	35 299 736	47 829 438	25 875 508	35 067 308

Mida del fitxer (% respecte mida orig.)	Segrià		Pla d'Urgell	
	R	RHN	R	RHN
Byte	100.00	100.00	100.00	100.00
JPG clàssic 100 %	69.48	70.76	72.94	74.54
JPEG 2000 lossless	59.16	60.12	62.32	63.34

Taula 7: Mides dels fitxer utilitzats per a les classificacions en format sense pèrdua o quasi sense pèrdua en valor absolut (taula superior) i en valor relatiu respecte la mida del fitxer original (taula inferior) per a les zones agrícoles

4 RESULTATS

4.1 INTRODUCCIÓ

Els resultats per a les zones forestals es mostren a la Figura 11 i a la Taula 8, i els resultats per a les zones agrícoles es mostren a la Figura 12 i a la Taula 9. Com s'ha comentat a l'apartat 3.2, per cada tipus de paisatge s'ha analitzat dues zones. Per cada zona el gràfic o la taula superior mostra el percentatge d'àrea cartografiada obtingut per les classificacions, mentre que l'inferior mostra l'encert global dels píxels classificats, ambdós en funció de la raó de compressió (CR). Els gràfics o taules de les zones menys fragmentades (Garrotxa-Ripollès i Segrià) estan situats a l'esquerra.

En tots els gràfics es mostra en verd les classificacions que només inclouen radiometria (escenari R) i en vermell les classificacions que també inclouen altres variables (escenaris RTC i RHN). La línia contínua indica el format de compressió JPEG clàssic mentre que la línia discontinua mostra els resultats pel que fa al format JPEG 2000 (J2K).

4.2 ZONES FORESTALS

És necessari destacar que per les zones forestals les variables topo-climàtiques milloren de manera molt significativa la classificació. Aquesta millora es concreta en una major àrea cartografiada (pas de 82.55 % a 88.00 % per la primera zona forestal i de 64.10 % a 69.17 % per la segona) alhora que en un major encert de la classificació (pas de 84.10 % a 89.90 % per la primera zona forestal i de 77.00 % a 83.20 % per la segona).

4.2.1 ZONA GARROTXA-RIPOLLÈS

a) Escenari R – JPG (→▲→)

En aquest escenari, l'àrea cartografiada es troba en general lleugerament per sota de l'àrea cartografiada a la classificació original (82.55 %) tot i que la tendència sembla indicar que l'àrea cartografiada augmenta en disminuir la CR fins a superar l'àrea cartografiada per la classificació original a CR 0.05 (83.51 %). Cal recordar que, per la seva definició, una disminució en la raó de compressió (CR) implica un major compressió del fitxer.

L'encert de la classificació es manté, en general, per sobre de l'encert de la classificació original (84.10 %) i la tendència és que l'encert augmenti en disminuir CR fins al màxim encert, situat a CR 0.10 (85.4 %), a partir del qual aquest disminueix.

Per tant, la CR òptima per aquest escenari estaria situada a CR 0.20-0.10 donat que en aquests punts l'àrea cartografiada (82.34 %, 81.98 %) és només una mica inferior a la de la classificació original (82.55 %) i l'encert és una mica superior (84.90 %, 85.50 % respecte 84.10 %).

b) Escenari R – J2K (→▲→)

L'àrea cartografiada en aquest escenari també es troba, en general, lleugerament per sota de l'àrea cartografiada a la classificació original (82.55 %) tot i que la tendència sembla indicar que

L'àrea cartografiada augmenta en disminuir CR fins a superar l'àrea cartografiada per la classificació original a CR 0.10 (83.31 %).

L'encert de la classificació es manté per sobre de l'encert de la classificació original (84.10 %) a qualsevol CR i té una tendència clarament ascendent.

En aquest cas, doncs la CR òptima seria CR 0.01 ja que és el cas amb major encert (87.00 %) i àrea cartografiada (86.40 %).

c) Escenari RTC – JPG (—■—)

L'àrea cartografiada en aquest escenari es troba en general lleugerament per sota de l'àrea cartografiada a la classificació original (88.00 %) tot i que es recupera en disminuir la CR fins arribar a un màxim en què iguala l'àrea cartografiada per la classificació original a la CR 0.05 (88.05 %), a partir de la qual empitjora fortament.

L'encert de la classificació es manté molt lleugerament per sobre de l'encert de la classificació original (89.9 %) i la tendència és que l'encert augmenti en disminuir la CR fins al màxim encert situat a la CR 0.05 (90.40 %) a partir del qual l'encert disminueix fins a valors una mica per sota dels originals. L'augment de l'encert en disminuir CR segueix la mateixa tendència que l'escenari R-JPG (mateix format de compressió però classificació només amb variables radiomètriques) però amb unes variacions més suaus, cosa que sembla indicar que les variables topo-climàtiques són més resistents a la compressió.

La CR òptima en aquest cas estaria situada a CR 0.05 donat que en aquest punt l'àrea cartografiada (88.05 %) és similar a la de la classificació original (88.00 %) i l'encert és una mica superior (90.40 % respecte 89.90 %).

d) Escenari RTC – J2K (·-■-·)

L'àrea cartografiada en aquest escenari es troba en general lleugerament per sobre de l'àrea cartografiada a la classificació original (88.00 %) i la tendència sembla indicar que l'àrea cartografiada augmenta en disminuir la CR fins arribar a un petit màxim a la CR 0.40 (88.88 %) a partir del qual disminueix.

En aquest escenari l'encert de la classificació es molt similar a l'encert amb la classificació original (89.90 %) fins a la CR 0.30, per a les CR inferiors a aquest valor, l'encert supera el valor original i té tendència a augmentar clarament fins assolir 92.40 % a la CR 0.01.

La CR òptima en aquest cas estaria situada a la CR 0.30, si hom prima l'àrea cartografiada, donat que en aquest punt l'àrea cartografiada (88.32 %) és lleugerament superior a la de la classificació original (88.00 %) i l'encert és només lleugerament inferior (89.80 % respecte 89.90 %). D'altra banda, si hom prima la compressió i l'encert, escolliríem una CR de 0.10 donat que l'àrea cartografiada (87.46 %) és només una mica inferior a l'original (88.00 %) i l'encert obtingut (90.70 %) és superior a l'original (89.90 %).

Àrea cartografiada	Garrotxa-Ripollès				Maresme-Vallès			
	R – JPG	R – J2K	RTC – JPG	RTC – J2K	R – JPG	R – J2K	RTC – JPG	RTC – J2K
Original	82.55	82.55	88.00	88.00	64.10	64.10	69.17	69.17
CR 0.60	80.92	81.28	87.25	88.44	65.68	64.62	69.67	70.60
CR 0.50	82.06	81.32	86.88	88.31	64.64	64.74	70.42	70.09
CR 0.40	79.92	81.15	87.36	88.88	64.51	65.55	70.17	69.66
CR 0.30	81.35	82.57	87.67	88.32	65.31	65.15	69.59	70.40
CR 0.20	82.34	81.89	87.90	87.33	66.48	65.51	68.86	70.25
CR 0.10	81.98	83.31	87.47	87.46	66.72	65.54	68.79	69.16
CR 0.05	83.51	83.69	88.05	86.88	67.70	65.39	69.55	67.65
CR 0.01	86.58	86.40	86.04	82.28	64.67	65.05	63.97	61.33
Encert global (només classif.)	R – JPG	R – J2K	RTC – JPG	RTC – J2K	R – JPG	R – J2K	RTC – JPG	RTC – J2K
Original	84.10	84.10	89.90	89.90	77.00	77.00	83.20	83.20
CR 0.60	83.90	84.10	89.90	89.60	76.80	77.10	83.10	83.10
CR 0.50	84.10	84.30	89.90	89.70	76.90	76.70	82.90	83.10
CR 0.40	84.40	84.10	90.00	89.70	77.00	76.60	82.70	83.70
CR 0.30	84.70	84.10	90.10	89.80	76.80	76.90	82.90	83.80
CR 0.20	84.90	85.20	90.30	90.20	77.10	77.30	82.90	83.40
CR 0.10	85.40	85.80	90.10	90.70	77.00	78.80	83.00	83.10
CR 0.05	84.20	86.20	90.40	91.00	76.60	79.40	83.10	83.30
CR 0.01	82.50	87.00	89.60	92.40	73.00	78.00	83.20	84.00

Taula 8: Resultats de les zones forestals: Àrea cartografiada (taula superior) i Encert global (inferior) per la zona de la Garrotxa-Ripollès (esquerra) i Maresme-Vallès (dreta)

Àrea cartografiada	Segrià				Pla d'Urgell			
	R – JPG	R – J2K	RHN – JPG	RHN – J2K	R – JPG	R – J2K	RHN – JPG	RHN – J2K
Original	79.42	79.42	78.66	78.66	70.45	70.45	70.80	70.80
CR 0.60	80.47	78.28	78.05	77.86	70.43	70.58	71.20	69.89
CR 0.50	78.19	79.96	78.81	79.00	70.90	70.12	71.14	70.02
CR 0.40	80.61	79.23	79.97	79.23	71.41	70.20	70.35	70.20
CR 0.30	79.27	78.24	77.59	78.54	69.15	71.11	69.28	70.20
CR 0.20	79.35	79.42	78.94	78.98	72.59	70.70	69.64	69.11
CR 0.10	81.18	77.83	76.26	76.55	70.27	70.52	67.87	67.20
CR 0.05	81.70	78.68	81.25	76.20	70.36	68.91	70.64	69.29
CR 0.01	86.26	85.48	79.08	83.99	77.82	83.20	73.74	81.52
Encert global (només classif.)	R – JPG	R – J2K	RHN – JPG	RHN – J2K	R – JPG	R – J2K	RHN – JPG	RHN – J2K
Original	99.00	99.00	98.70	98.70	99.50	99.50	99.60	99.60
CR 0.60	98.70	98.90	98.90	98.80	99.60	99.50	99.60	99.60
CR 0.50	99.00	98.90	99.00	98.90	99.40	99.50	99.70	99.60
CR 0.40	98.80	98.80	98.90	98.90	99.60	99.60	99.70	99.70
CR 0.30	98.60	99.00	99.00	98.80	99.60	99.50	99.60	99.50
CR 0.20	98.90	98.90	98.70	98.90	99.50	99.60	99.60	99.60
CR 0.10	98.80	98.90	99.00	98.80	99.70	99.70	99.70	99.70
CR 0.05	98.70	99.00	98.70	98.50	99.60	99.40	99.60	99.70
CR 0.01	97.80	98.90	98.80	98.80	98.70	99.40	99.40	86.70

Taula 9: Resultats de les zones agrícoles: Àrea cartografiada (taula superior) i Encert global (inferior) per la zona del Segrià (esquerra) i Pla d'Urgell (dreta)

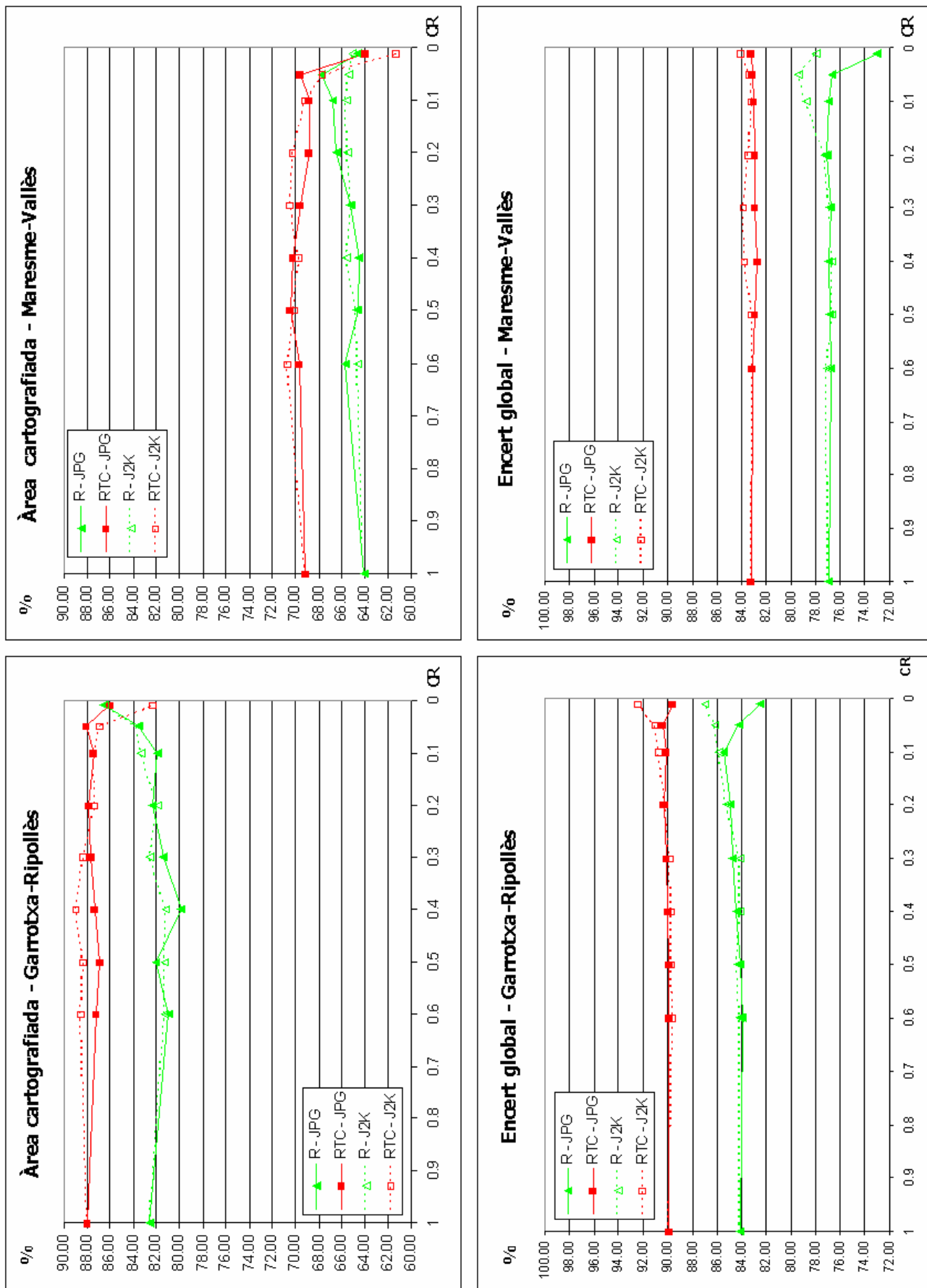


Figura 11: Resultats de les zones forestals: Àrea cartografiada (gràfics superiors) i Encert global (inferiors) per la zona de la Garrotxa-Ripollès (esquerra) i Maresme-Vallès (dreta)

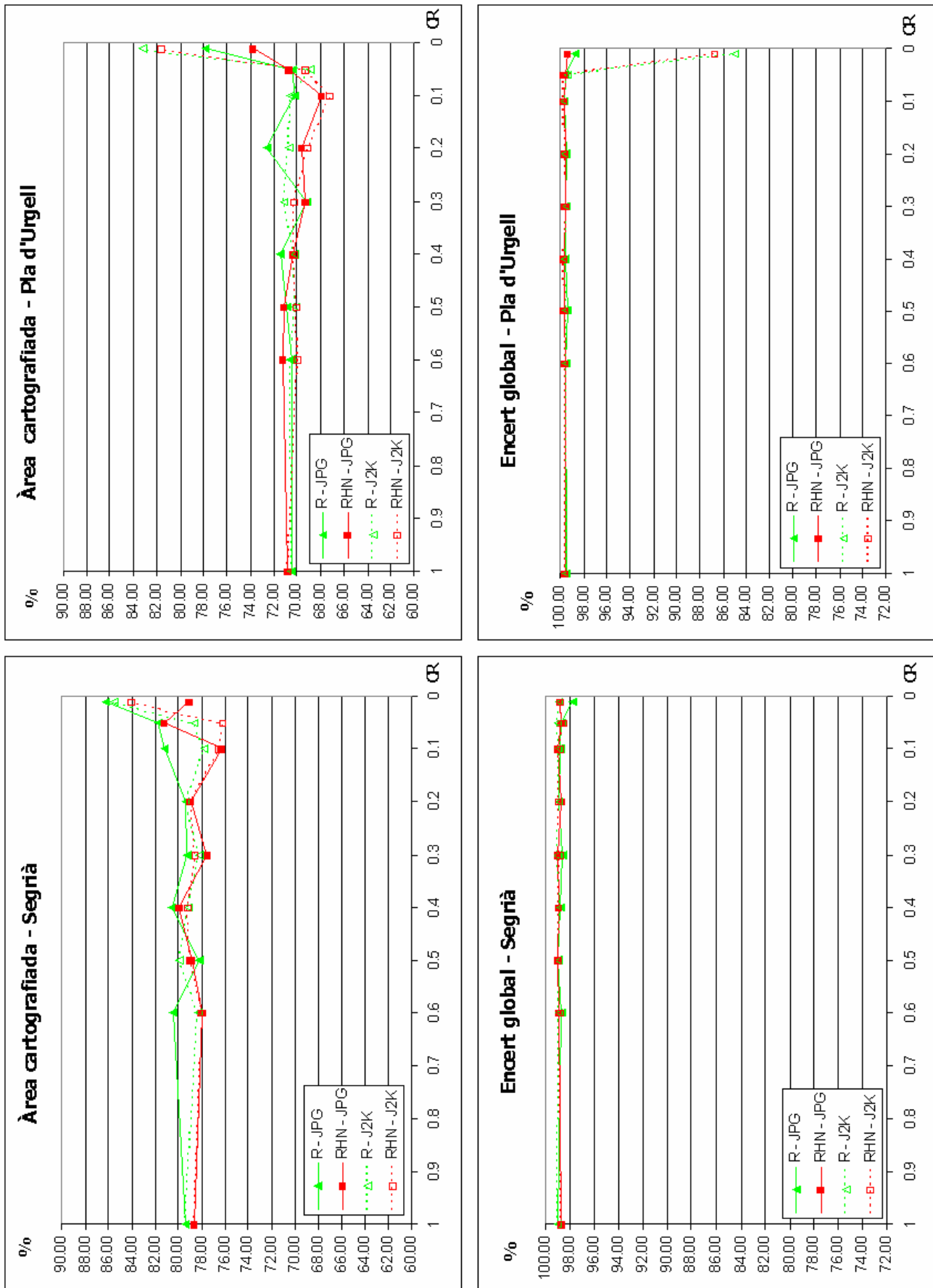


Figura 12: Resultats de les zones agrícoles: Àrea cartografiada (gràfics superiors) i Encert global (inferiors) per la zona del Segrià (esquerra) i Pla d'Urgell (dreta)

4.2.2 ZONA MARESME-VALLÈS

Aquesta zona forestal és més fragmentada que l'anterior i tant l'encert com l'àrea cartografiada aconseguits per la classificació original són inferiors als obtinguts per l'altra zona forestal.

a) Escenari R – JPG (→▲→)

L'àrea cartografiada en aquest escenari es troba en totes les CR per sobre de l'àrea cartografiada a la classificació original (64.10 %) i la tendència sembla indicar que l'àrea cartografiada augmenta en disminuir la CR fins a arribar a un màxim a CR 0.10 (67.70 %). Probablement l'excés de compressió penalitza la cartografia tant en termes d'encert com d'àrea cartografiada.

L'encert de la classificació es manté en al voltant de l'encert de la classificació original (77.00 %) però a partir d'una CR 0.10 l'encert cau clarament per sota del valor original.

Per tant, la CR òptima per aquest escenari estaria situada a una CR 0.10-0.05 donat que per aquestes raons de compressió l'àrea cartografiada és màxima (66.72 %, 67.70 % respecte 64.10 %) i l'encert és igual o només una mica inferior al de la classificació original (77.00 % i 76.60 % respecte 77.00 %).

b) Escenari R – J2K (→▲→)

L'àrea cartografiada en aquest escenari es troba també per sobre de l'àrea cartografiada a la classificació original (64.10 %) i la tendència sembla indicar que l'àrea cartografiada augmenta, però només lleugerament, en disminuir la CR fins a arribar a un màxim a CR 0.10 (65.54 %).

L'encert de la classificació es manté al voltant de l'encert de la classificació original (77.00 %) i a partir de CR 0.20 augmenta clarament fins al màxim a CR 0.05 (79.40 %).

La CR òptima en aquest cas estaria situada a la CR 0.10-0.05 ja que en aquestes CR tant l'àrea cartografiada com l'encert global són superiors als valors originals (àrea: 65.54 % i 65.39 % respecte 64.10 %; encert: 78.80 % i 79.40 % respecte 77.00 %).

c) Escenari RTC – JPG (→■→)

L'àrea cartografiada en aquest escenari augmenta en disminuir la CR respecte l'àrea cartografiada a partir de les imatges originals (69.17 %) fins a un màxim situat a la CR 0.50 (70.42 %). A partir d'aquí l'àrea cartografiada disminueix excepte per la CR 0.1 (69.55 %) on hi ha un màxim local, potser degut a algun artefacte.

L'encert de la classificació en troba lleugerament per sota de l'encert de la classificació original (83.20 %). A la CR 0.01 es recupera el valor original, però això és degut a que l'àrea cartografiada a aquesta CR és molt baixa.

Per tant la CR òptima en aquest escenari estaria situada a la CR 0.50 ja que s'obté la màxima àrea cartografiada (70.42 %), superior a la de la classificació original (69.17 %), i un encert només lleugerament inferior al de la classificació original (82.90 % respecte 83.20 %).

d) **Escenari RTC – J2K (→□←)**

En aquest escenari l'àrea cartografiada augmenta per sobre de l'àrea de la classificació original (69.17 %) en disminuir la CR però sense cap tendència. A partir d'una CR 0.10 l'àrea cartografiada és similar i disminueix de forma acusada fins a la CR 0.01 (61.33 %).

En disminuir la CR l'encert de la classificació augmenta lleugerament per a les CR mitjanes (83.70 % i 83.80 % per CR 0.40 i 0.30 respecte 83.20 % de classificació original), després es redueix una mica en continuar disminuint la CR, excepte pel darrer valor, en què l'encert és lleugerament superior als anteriors (84.00 %) però a costa de la forta disminució en àrea cartografiada d'aquesta CR.

Així, la CR òptima per aquest escenari se situaria a CR 0.30 ja que a aquest nivell de compressió s'obté la segona major àrea cartografiada (70.40 %), superior a la de la classificació original (69.17 %), i un encert global també quasi màxim (83.80 %) i també superior al de la classificació original (83.20 %).

4.3 ZONES AGRÍCOLES

Per a totes les zones agrícoles és remarcable que els encerts obtinguts són molt elevats. A més, la compressió no sembla afectar pràcticament gens aquest encert, el valor del qual es manté gairebé sempre molt proper al valor original excepte per les compressions més extremes en què l'encert empitjora. Per tot, si només ens fixem en l'encert, la CR en tots els casos podria arribar a 0.05.

També es destacable la poca millora introduïda per les variables no radiomètriques en la classificació.

4.3.1 ZONA SEGRIA

a) **Escenari R – JPG (→▲←)**

En aquest escenari l'àrea cartografiada fluctua al voltant del valor original (79.42 %) a valors mitjans de la CR però en disminuir la CR la tendència és a augmentar. L'encert global es manté pràcticament constant al voltant del valor original excepte a CR molt baixes, en què disminueix de manera més significativa.

La CR òptima en aquest escenari se situa a una CR 0.10-0.05 ja que l'àrea cartografiada és superior a l'original (81.18 % o 81.70 % respecte 79.42 %) i l'encert és només una mica inferior (98.80 % o 98.70 % respecte 99.00 %). Per a CR mitjanes hi ha certa oscil·lació en els valors de l'àrea cartografiada obtinguda, però com que hi ha una tendència clara a CR més petites i com que l'oscil·lació no és molt àmplia sí que s'escull una CR òptima.

b) **Escenari R – J2K (→▲←)**

En aquest escenari l'àrea cartografiada també segueix el mateix comportament que en el cas anterior: fluctua al voltant del valor original (79.42 %) a valors mitjans de CR però en disminuir la CR la tendència és a augmentar, encara que aquesta tendència és menys acusada que pel

cas JPG. L'encert global es manté pràcticament constant al voltant del valor original amb petites fluctuacions.

La CR òptima en aquest escenari se situa a CR 0.01 ja que l'àrea cartografiada és força superior a l'obtinguda amb la classificació original (85.48 % respecte 79.42 %) i l'encert és només una mica inferior (98.90 respecte 99.00 %). Cal advertir, però, que la fluctuació de valors a CR mitjanes i la tendència poc clara de la millora en àrea a CR baixes pot ser indicador que la definició d'una CR òptima no estigui exempta de risc.

c) Escenari RHN – JPG (—■—)

En els escenaris que consideren variables no radiomètriques (RHN – JPG i RHN – J2K, descrit al proper apartat), es pot destacar que l'àrea cartografiada fluctua al voltant del valor original sense mostrar una tendència clara a augmentar a CR reduïdes (com passa amb els escenaris que només usen radiometria). L'encert global, com en la majoria d'escenaris per a les zones agrícoles, es manté pràcticament constant al voltant del valor original amb petites fluctuacions.

Per aquest escenari no suggerim cap CR òptima perquè es considera que la fluctuació de l'àrea cartografiada en funció de les CR (que arriba a una oscil·lació de 4.9 punts) és massa elevada i qualsevol CR escollida podria implicar un risc massa gran sense obtenir, d'altra banda, gaire millora quant a l'àrea cartografiada.

d) Escenari RHN – J2K (··■··)

Com en el cas anterior, l'àrea cartografiada fluctua al voltant del valor original sense mostrar una tendència clara a augmentar a CR reduïdes i l'encert global en la majoria d'escenaris per a les zones agrícoles es manté pràcticament constant al voltant del valor original.

La CR òptima per aquest escenari es podria situar a CR 0.20 donat que és la compressió màxima a la qual l'àrea cartografiada (78.89 %) augmenta una mica respecte l'original (78.66 %) amb un encert també lleugerament superior (98.90 % respecte 78.98 %).

En aquest escenari la CR òptima es podria situar a CR 0.01 donat que l'àrea cartografiada és màxima (83.99 %) i superior l'àrea cartografiada amb les imatges originals (78.66 %) i l'encert és també una mica superior al de les imatges originals (98.80 % respecte 98.80 %). Però això implicaria també assumir el risc d'obtenir les situacions de les CR 0.10 i 0.05 (amb àrea cartografiada molt baixa). Per tant el CR òptim hauria de ser

4.3.2 ZONA PLA D'URGELL

a) Escenari R – JPG (—▲—)

L'àrea cartografiada es manté en general similar o superior a la de les imatges sense compressió (70.45 %). Destaca la CR 0.20 i CR 0.01 amb una àrea cartografiada màxima (72.59 % i 77.82 %). L'encert global és molt similar en tots el escenaris de CR (excepte en el cas de compressió màxima, en què decreix clarament) i, per tant, la CR òptima se situaria a una CR 0.20 amb la màxima àrea cartografiada i encert igual al de la classificació a partir de les

imatges originals (99.50 %). No se selecciona CR 0.01 ja que aquesta compressió obté una elevada classificació però deguda en part a una disminució de l'encert global (98.70 %).

b) Escenari R – J2K (·-△-·)

En aquest escenari la variabilitat en l'àrea cartografiada és encara menys acusada que en el cas anterior. Destaca la CR 0.30 i CR 0.01 amb una àrea cartografiada màxima (71.11 % i 83.20 %) respecte l'àrea de la classificació original (70.45 %). Com en tots els casos de zones agrícoles l'encert global és molt similar en tots el escenaris de CR (excepte en el cas de compressió màxima, que decreix fortament) i per tant la CR òptima se situaria a CR 0.30 amb la màxima àrea cartografiada i encert igual al de la classificació a partir de les imatges originals (99.50 %). No es selecciona CR 0.01 ja que aquesta compressió obté una elevada classificació però deguda en part a una disminució molt acusada de l'encert global (85.00 %). Aquesta situació és molt semblant a la de l'escenari R – JPG descrit a l'apartat anterior.

c) Escenari RHN – JPG (·-■-·)

En aquesta àrea agrícola l'àrea cartografiada també fluctua al voltant del valor original sense mostrar una tendència clara a augmentar a CR reduïdes (com passa amb els escenaris que només usen radiometria). L'encert global com en la majoria d'escenaris per a les zones agrícoles es manté pràcticament constant al voltant del valor original amb petites fluctuacions.

La CR òptima per l'escenari RHN-JPG es podria situar a una CR 0.01 ja que l'àrea cartografiada (73.74 %) és superior a la de les imatges originals (70.80 %) i l'encert global només és lleugerament inferior (96.40 % respecte 96.60 %). Cal advertir, però, que la fluctuació de valors a CR mitjanes i la tendència poc clara de la millora en àrea a CR baixes pot ser indicador que la definició d'una CR òptima no estigui exempta de risc.

d) Escenari RHN – J2K (·-■-·)

Com en el cas anterior, l'àrea cartografiada fluctua al voltant del valor original sense mostrar una tendència clara a augmentar a CR reduïdes, excepte al nivell de més compressió, a costa, però, d'una forta disminució de l'encert global. L'encert global es manté pràcticament constant al voltant del valor original amb petites fluctuacions.

La CR òptima per l'escenari RHN-J2K es situaria a CR 0.40 donat que l'àrea cartografiada és màxima (70.20 %) i superior l'àrea cartografiada amb les imatges originals (70.80 %) i l'encert és també una mica superior al de les imatges originals (99.70 % respecte 99.60 %).

5 DISCUSSIÓ

5.1 ZONES FORESTALS

5.1.1 ESCENARIS NOMÉS AMB RADIOMETRIA

a) Escenari R – JPG (←▲→)

En el cas que l'objectiu sigui comprimir amb el format JPEG imatges radiomètriques de zones forestals per a obtenir classificacions només amb radiometria, la CR màxima que es recomana utilitzar és **0.20-0.10** ja que és la compressió màxima permesa (zona Garrotxa-Ripollès). La zona de Maresme-Vallès admetria més compressió però com a indicador general escollirem sempre el pitjor dels dos casos disponibles. Per tant, aquestes imatges admeten força compressió (indicat amb “++” a la Taula 10).

Els resultats d'aquesta compressió en general tenen un efecte lleu sobre la classificació (indicat amb “=+” a la Taula 10). L'àrea cartografiada en aquests escenaris de compressió es manté similar a la classificació original corresponent o es beneficia de cert augment (2.6 punts percentuals, punts en endavant, de millora a la zona Maresme-Vallès a una CR 0.10). L'encert es manté també en valors similars a l'original o una mica superiors (1.3 punts per la zona de Garrotxa-Ripollès a una CR 0.10).

b) Escenari R – J2K (←▲→)

En el cas que l'objectiu sigui comprimir amb el format JPEG 2000 imatges radiomètriques de zones forestals per a obtenir classificacions només amb radiometria, la CR màxima que es recomana utilitzar és **0.10-0.05** ja que és la compressió màxima permesa (zona Maresme-Vallès, malgrat que la zona de Garrotxa-Ripollès admetria més compressió). Per tant, aquestes imatges admeten força compressió (indicat amb “++” a la Taula 10).

Els resultats d'aquesta compressió tenen un efecte positiu sobre la classificació (indicat amb “+” a la Taula 10). L'àrea cartografiada en aquests escenaris de compressió es beneficia de cert augment en les dues zones (1.2 punts de millora a una CR 0.05) i l'encert també augmenta en les dues zones (2.1 i 2.4 punts a una CR 0.10).

c) Comentaris

Els escenaris que només usen radiometria en zones forestals semblen admetre CR mitjanes o baixes (entre 0.20 i 0.05) i a més, sorprenentment, això no només no penalitza el resultat de la classificació sinó que en alguns casos la classificació sembla millorar. Aquesta millora es podria explicar per la homogeneïtzació de les imatges tot i que el resultat podria estar emmascarat també pel fet que el mètode d'avaluació no contempli correctament totes les situacions errònies produïdes per la classificació, com es comentarà posteriorment.

5.1.2 ESCENARIS AMB RADIOMETRIA I VARIABLES TOPO-CLIMÀTIQUES

a) Escenari RTC – JPG (←■→)

En el cas que l'objectiu sigui comprimir amb el format JPEG imatges radiomètriques i variables topo-climàtiques de zones forestals per a obtenir classificacions amb totes aquestes variables, la

CR màxima que es recomana utilitzar és **0.50** ja que és la compressió màxima permesa (zona de Maresme-Vallès, malgrat que la zona de Garrotxa-Ripollès admetria més compressió). Per tant, aquestes imatges admeten una mica de compressió (indicat amb "+" a la Taula 10).

Els resultats d'aquesta compressió tenen efectes contradictoris sobre la classificació (indicat amb "+/-" a la Taula 10). L'àrea cartografiada en aquests escenaris de compressió oscil·la a voltant de l'àrea de la classificació original (± 1.2 punts) i l'encert es manté en valors similars a l'original o una mica per sota (-0.3 punts per la zona de Maresme-Vallès).

b) Escenari RTC – J2K (·-·-·)

En el cas que l'objectiu sigui comprimir amb el format JPEG 2000 imatges radiomètriques i variables topo-climàtiques de zones forestals per a obtenir classificacions amb totes aquestes variables, la CR màxima que es recomana utilitzar és **0.30** ja que és la compressió òptima per les dues zones. Per tant amb aquestes imatges admeten una mica de compressió (indicat amb "+" a la Taula 10).





Els resultats d'aquesta compressió en general tenen un efecte lleu sobre la classificació (indicat amb "=+" a la Taula 10). L'àrea cartografiada en aquests escenaris de compressió es manté similar a la classificació original corresponent o es beneficia de cert augment (1.2 punts de millora a la zona Maresme-Vallès). L'encert es manté també en valors similars a l'original o una mica superiors (0.6 punts per la zona de Maresme-Vallès).

c) Comentaris

La compressió en el cas JPEG no és aconsellada ja que els escenaris admeten poca compressió i, encara, això té efectes que poden ser negatius per la classificació. Tenint en compte que la compressió aconseguida no és molt elevada (CR 0.50), i no massa diferent a la obtinguda per les compressions sense pèrdua, potser és més aconsellable no comprimir en aquests casos. La raó de compressió aconseguida per la compressió JPEG al 100% de qualitat (considerant totes les imatges usades en aquest escenari) és 62.26 % i 57.77 % (zona de la Garrotxa-Ripollès i Maresme-Vallès, respectivament), com s'ha mostrat a la Taula 6.

En el cas JPEG 2000 la situació és una mica millor però tampoc gaire aconsellable ja que la compressió admesa no és gaire elevada i els efectes obtinguts són molt similars a les imatges originals. Es podria aconsellar aquest escenari només en situacions en què l'espai de disc o la velocitat de transmissió de dades siguin crítics i, fins i tot, en aquest cas potser seria suficient amb una compressió JPEG 2000 lossless que en algun cas obté raons de compressió molt elevades (vegeu la Taula 6, on es mostra que per la zona de Maresme-Vallès la raó de compressió obtinguda és 45.63 %). Aquesta situació es marca a les conclusions de la Taula 10 com a "Si*" per indicar amb l'asterisc que hi ha consideracions sobre aquest "Sí".

Es podria provar de comprimir les imatges radiomètriques i no les variables topo-climàtiques per tal de mirar de "recuperar" a l'escenari RTC les millores observades a l'escenari R. Creiem, però, que en aquest nou escenari la millora de la compressió només en les imatges radiomètriques no es veuria tampoc reflectida als resultats finals ja que aquesta millora és molt petita i queda emmascarada per la millora substancial que suposa la introducció de les variables no radiomètriques a la classificació.

		Zones forestals			Zones agrícoles		
		Compressió admesa	Efectes sobre classificació	Conclusió	Compressió admesa	Efectes sobre classificació	Conclusió
Només Radiometria	JPEG 	++ CR 0.20-0.10	= + Àrea: similar o màxim + 2.6 Encert: similar o màxim + 1.3	Sí	++ CR 0.20	= = + Àrea: similar o màxim + 2.1 Encert: similar	Sí
	J2K 	++ CR 0.10-0.05	+ Àrea: + 1.2 Encert: màxim + 2.4	Sí	+ CR 0.30	= Àrea: + 0.7, - 1.2 Encert: igual	Sí*
Radiometria i altres variables	JPEG 	+ CR 0.50	+ / - Àrea: ± 1.2 Encert: similar o - 0.3	No	-	-	No
	J2K 	+ CR 0.30	= + Àrea: similar o màxim + 1.2 Encert: similar o màxim + 0.6	Sí*	+ CR 0.40	= + Àrea: ± 0.6 Encert: similar	Sí*

Taula 10: Resum de les compressions admeses i els efectes d'aquesta compressió sobre la classificació, per als dos tipus de paisatge i els diferents escenaris estudiats

5.2 ZONES AGRÍCOLES

5.2.1 ESCENARIS NOMÉS AMB RADIOMETRIA

a) Escenari R – JPG ()

En el cas que l'objectiu sigui comprimir amb el format JPEG imatges radiomètriques de zones agrícoles per a obtenir classificacions només amb radiometria, la CR màxima que es recomana utilitzar és **0.20** ja que és la compressió màxima permesa (zona Pla d'Urgell, malgrat que la zona del Segrià admetria més compressió). Per tant, aquestes imatges admeten força compressió (indicat amb "++" a la Taula 10).

Els resultats d'aquesta compressió en general tenen un efecte lleu sobre la classificació (indicat amb "= = +" a la Taula 10). L'àrea cartografiada en aquests escenaris de compressió es manté similar a la classificació original corresponent o es beneficia de cert augment (2.1 punts de millora a zona del Pla d'Urgell). L'encert es manté també en valors similars a l'original.

b) Escenari R – J2K ()

En el cas que l'objectiu sigui comprimir amb el format JPEG 2000 imatges radiomètriques de zones agrícoles per a obtenir classificacions només amb radiometria, la CR màxima que es recomana utilitzar és **0.30** ja que és la compressió màxima permesa (zona Pla d'Urgell, malgrat

que la zona del Segrià admetria més compressió encara que amb cert risc). Per tant, aquestes imatges admeten una mica de compressió (indicat amb "+" a la Taula 10).

Els resultats d'aquesta compressió tenen efectes contradictoris sobre la classificació (indicat amb "=" a la Taula 10). L'àrea cartografiada en aquests escenaris de compressió oscil·la a voltant de l'àrea de la classificació original (-1.2 punts al Segrià i + 0.7 punts al Pla d'Urgell) i l'encert es manté en el mateix valor que la classificació original.

c) Comentaris

La compressió en el cas JPEG és aconsellable perquè és possible realitzar compressions mitjanes sense que afectin els resultats de la classificació, que es mantenen similar als originals o fins i tot una mica millor. Se suposa que la millora obtinguda per aquest escenari en cas de zones forestals no es veu reflectida aquí perquè els encerts ja són molt elevats.

En el cas de la compressió JPEG 2000 la situació és millor quant al grau de compressió admès. Però els efectes sobre la classificació d'aplicar aquesta compressió són una mica contradictoris tot i que en mitjana no afecten. Es podria aconsellar aquest escenari només en situacions en què l'espai de disc o la velocitat de transmissió de dades siguin crítics. Per aquestes zones, la compressió JPEG 2000 *loss/less* podria ser també una solució de compromís ja que malgrat que no aconsegueix elevades raons de compressió (59.16 % i 62.63 %, com es mostra a la Taula 6), la classificació resultant d'aquest escenari seria igual a l'original. Aquesta situació es marca a les conclusions de la Taula 10 com a "Sí*" (com s'ha explicat anteriorment).

5.2.2 ESCENARIS AMB RADIOMETRIA I ALTRES VARIABLES

a) Escenari RHN – JPG (—■—)

En el cas que l'objectiu sigui comprimir amb el format JPEG imatges radiomètriques, humitat i índexs de vegetació de zones agrícoles per a obtenir classificacions amb totes aquestes variables, no s'aconsella la compressió ja que no és possible trobar una CR òptima perquè la fluctuació dels resultats és massa elevada i qualsevol CR escollida podria implicar un risc massa gran sense obtenir, d'altra banda, gaire millora quant a l'àrea cartografiada.

b) Escenari RHN – J2K (··■··)

En el cas que l'objectiu sigui comprimir amb el format JPEG 2000 imatges radiomètriques, humitat i índexs de vegetació de zones agrícoles per a obtenir classificacions amb totes aquestes variables, la CR màxima que es recomana utilitzar és **0.40** ja que és la compressió màxima permesa (zona Pla d'Urgell, malgrat que la zona del Segrià admetria més compressió). Per tant, aquestes imatges admeten una mica de compressió (indicat amb "+" a la Taula 10).

Els resultats d'aquesta compressió tenen un efecte lleu sobre la classificació (indicat amb "=+" a la Taula 10). L'àrea cartografiada en aquests escenaris de compressió oscil·la a voltant de l'àrea de la classificació original (± 0.6 punts) i l'encert experimenta un lleuger augment (0.2 punts).

c) Comentaris

La compressió en el cas JPEG no és aconsellada en aquest escenari ja que la situació no és clara, la fluctuació dels resultats és massa elevada.

En el cas JPEG 2000 la situació és una mica millor però també dubtosa. La compressió admesa no és gaire elevada i els efectes obtinguts són molt similars a les imatges originals. Es podria aconsellar aquest escenari només en situacions en què l'espai de disc o la velocitat de transmissió de dades siguin crítics. En aquests casos l'opció d'una compressió JPEG 2000 lossless també seria possible tot i que no obté resultats tan bons com els obtinguts per les zones forestals (vegeu la Taula 6, on es mostra que per la zona de Segrià la raó de compressió obtinguda és 60.12 % i 63.34 % per la zona del Pla d'Urgell). Aquesta situació es marca a les conclusions de la Taula 10 com a "Sí*".

5.3 COMENTARIS GENERALS

Les figures 13 a 15 mostren exemples de les imatges i les classificacions obtingudes per la zona forestal de la Garrotxa-Ripollès. La Figura 13 mostra les imatges originals, la Figura 14 les imatges comprimides amb el format JPEG a una CR de 0.01 i la Figura 15 les imatges comprimides amb el format JPEG 2000 a una CR de 0.01. Vegeu la llegenda corresponent a les classificacions de totes aquestes figures (13 a 15) a la Figura 16.

Des del punt de vista de l'aspecte visual de les imatges i classificacions obtingudes, una característica particularment interessant de les classificacions obtingudes a partir de les imatges comprimides en format JPEG 2000 (J2K) és que aquestes tenen menor efecte de "sal i pebre", de manera que, des d'un punt de vista cartogràfic, aquest format és més efectiu tant per zones forestals (vegeu Figura 15) com per zones agrícoles. D'altra banda, les imatges comprimides usant el format JPEG clàssic a raons de compressió reduïdes presenten l'efecte dels blocs visible (com s'apuntava a l'apartat 3.3.3), tant a les imatges comprimides com a la classificació obtinguda a partir d'aquestes imatges (vegeu Figura 14).

És cert que la compressió en general no és perjudicial, però no és cert que en imatges com les usades sempre es pugui comprimir a raons de, p.ex. 0.01 (100:1), com de vegades s'ha afirmat (Landgrebe 2000) ja que aquest estudi mostra que en alguns escenaris s'obtenen resultats molt pitjors a raons de compressió tant baixes. Així, les figures 17 a 19 mostren un altre exemple de les imatges i les classificacions obtingudes per la zona agrícola del Pla d'Urgell. La Figura 17 mostra els resultats per les imatges originals, la Figura 18 els de les imatges comprimides amb el format JPEG a una CR de 0.01 i la Figura 19 els de les imatges comprimides amb el format JPEG 2000 a una CR de 0.01. Vegeu la llegenda corresponent a la Figura 20.

En aquest exemple es veu clarament que a CR molt reduïdes els artefactes que es donen a les imatges les fan inservibles per a generació de cartografia. En el cas del format JPEG 2000 els problemes d'aquesta imatge ja es reflectien als resultats numèrics (vegeu Taula 6 i Figura 12, zona del Pla d'Urgell, escenari RHN-J2K a una CR 0.01). Pel cas JPEG clàssic els problemes visuals d'aquesta imatge no es reflecteixen en els resultats numèrics (vegeu Taula 6 i Figura 12, zona del Pla d'Urgell, escenari RHN-JPG a una CR 0.01), ja que l'escenari no sembla dolent (però tampoc es correspon a la CR òptima escollida).

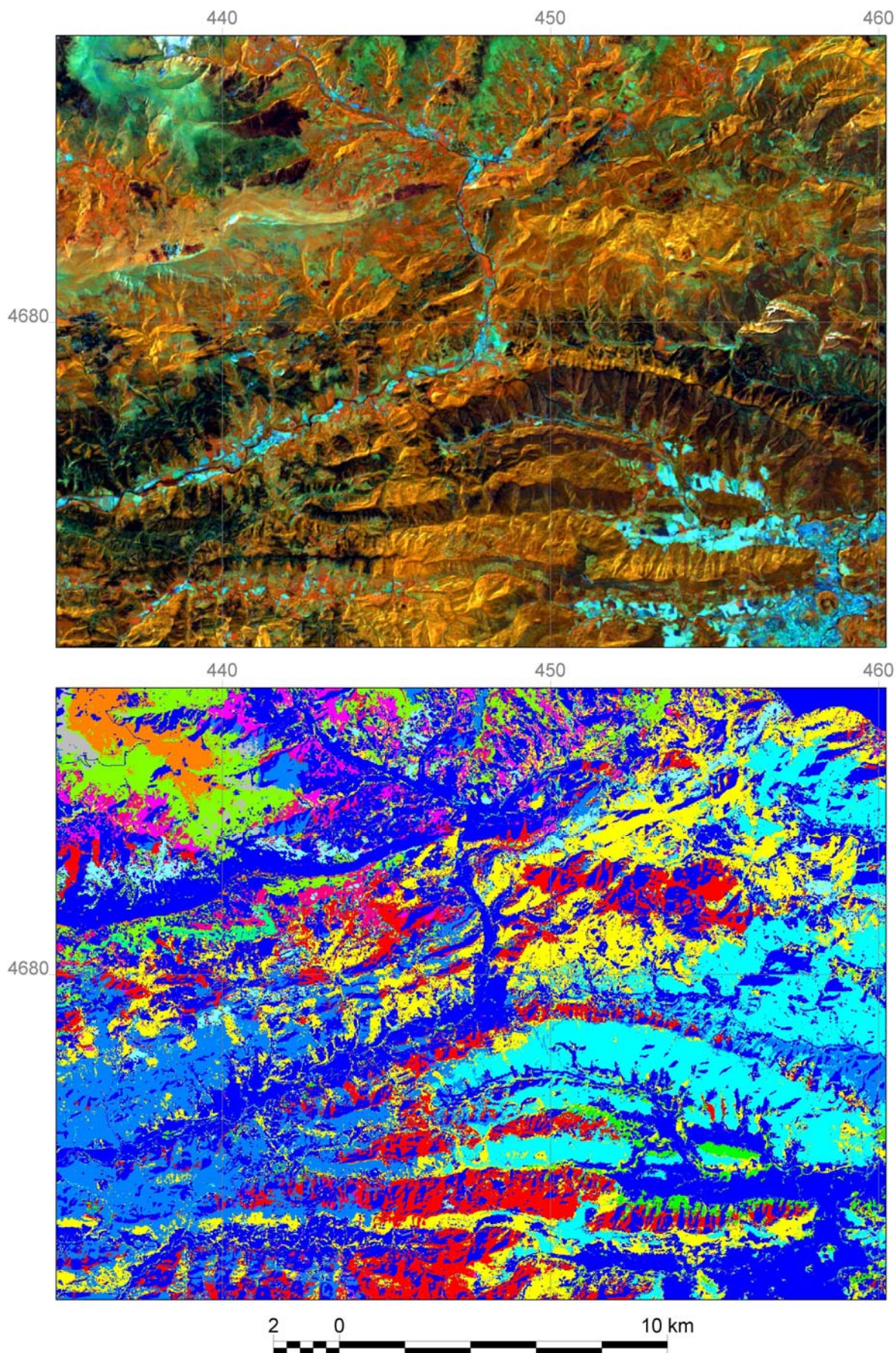


Figura 13: a) Composició RGB (4, 5, 3) de la imatge del 13-06-2002 sobre la zona forestal de la Garrotxa-Ripollès. b) Classificació obtinguda (vegeu llegenda a Figura 16)

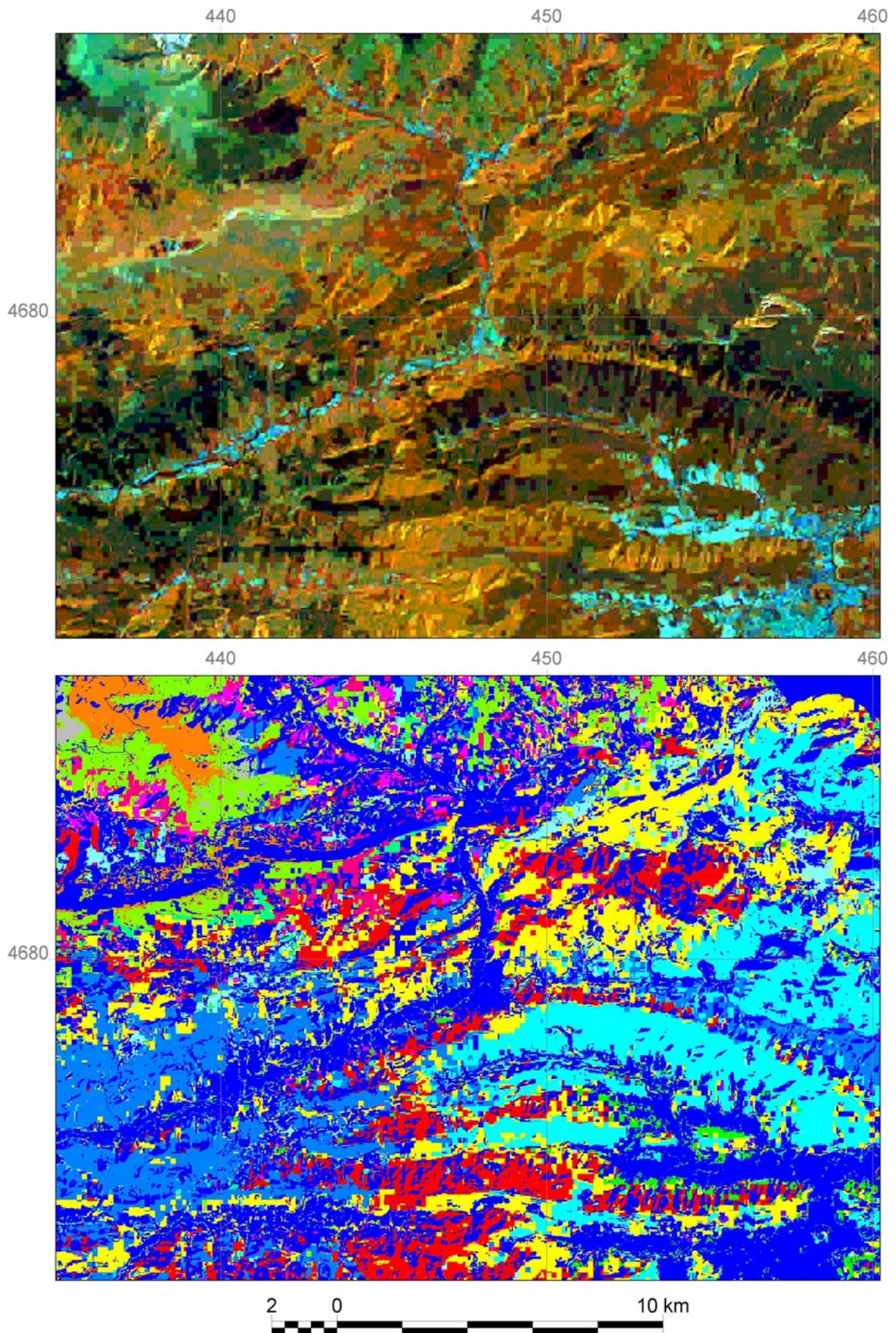


Figura 14: a) Composició RGB (4, 5, 3) de la imatge del 13-06-2002 sobre la zona forestal de la Garrotxa-Ripollès en fer una compressió JPG a CR 0.01. b) Classificació obtinguda (vegeu llegenda a Figura 16)

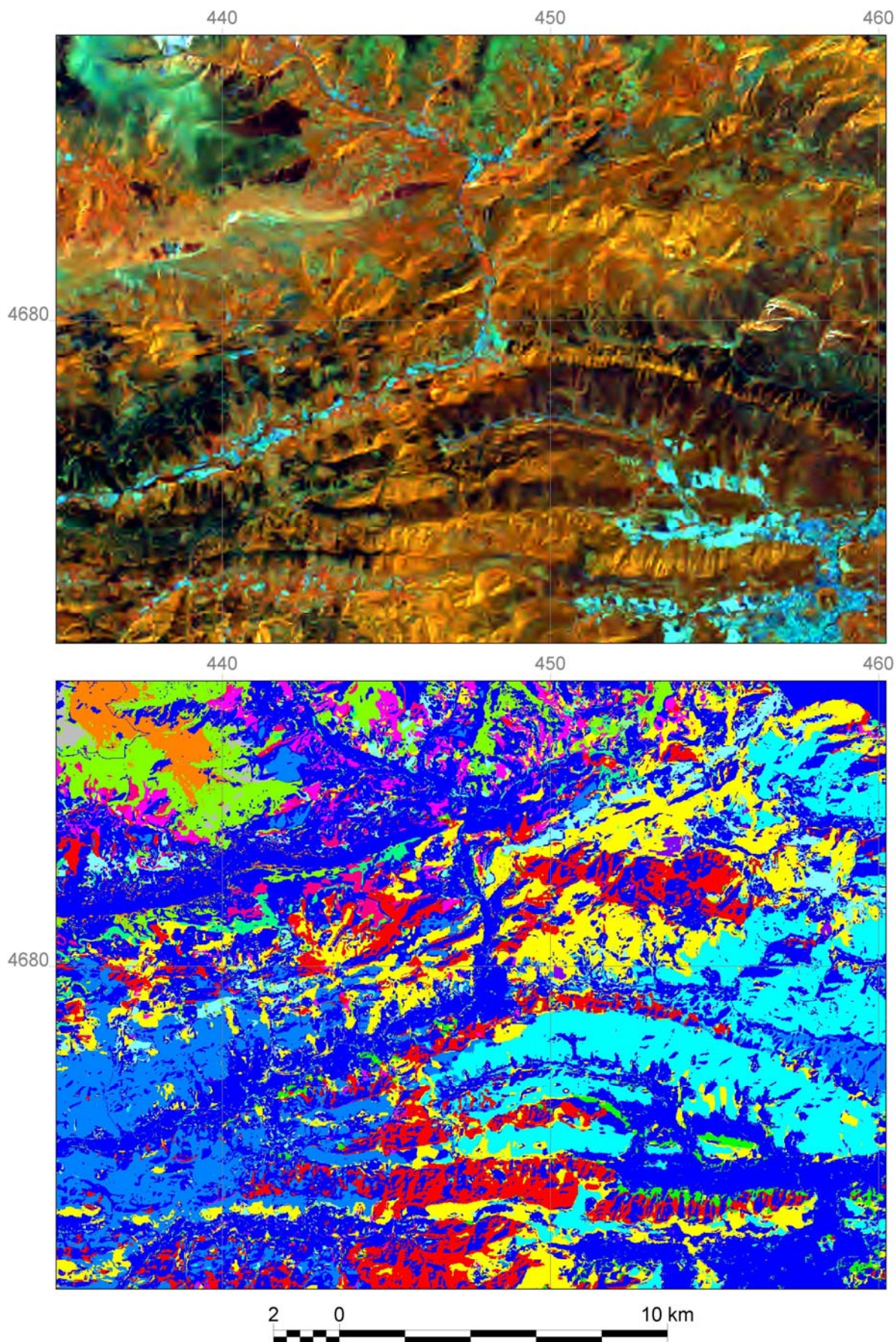


Figura 15: a) Composició RGB (4, 5, 3) de la imatge del 13-06-2002 sobre la zona forestal de la Garrotxa-Ripollès en fer una compressió J2K a CR 0.01. b) Classificació obtinguda (vegeu llegenda a Figura 16)

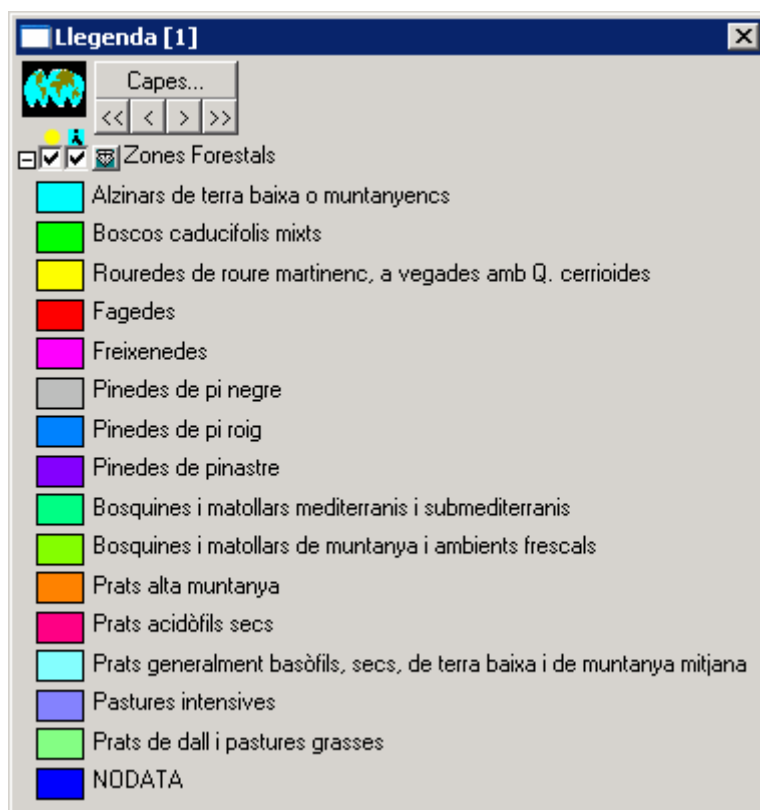


Figura 16: Llegenda de les classificacions sobre la zona forestal de la Garrotxa-Ripollès (Figures 13 a 15)

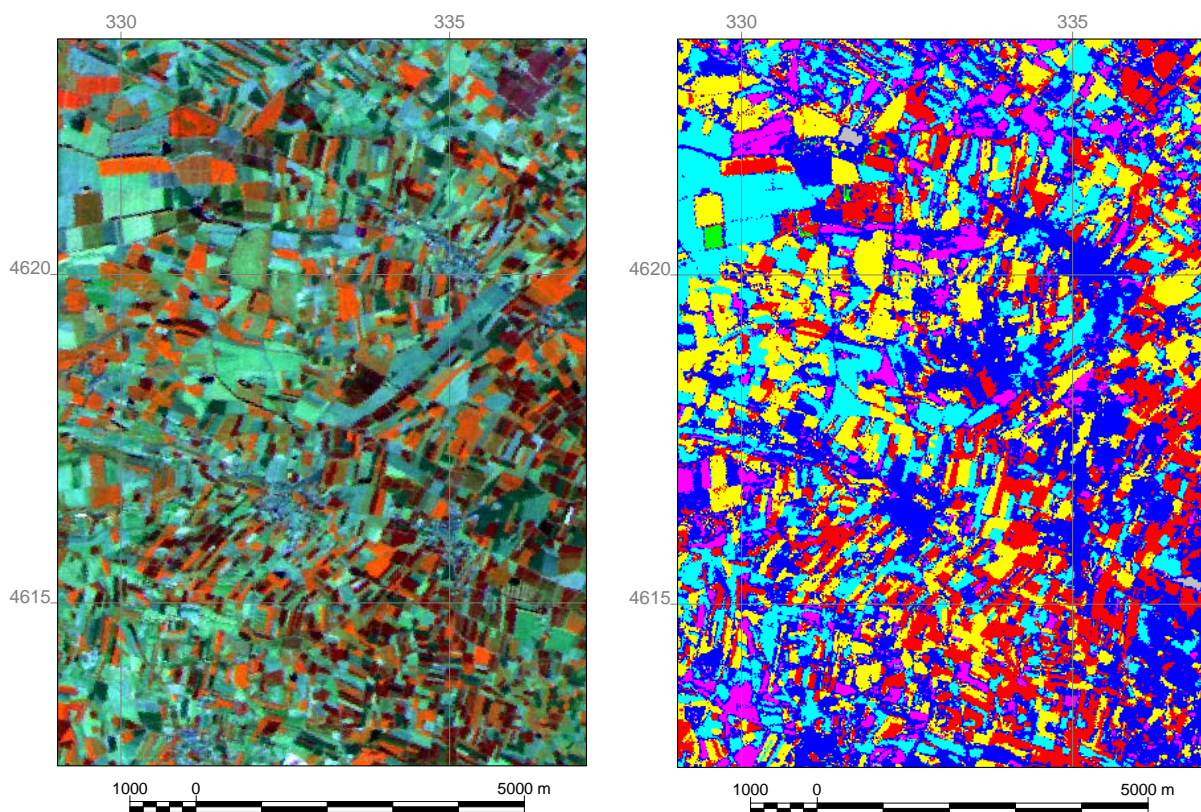


Figura 17: a) Composició RGB (4, 5, 3) de la imatge del 13-06-2002 sobre la zona agrícola del Pla d'Urgell. b) Classificació obtinguda (vegeu llegenda a Figura 20)

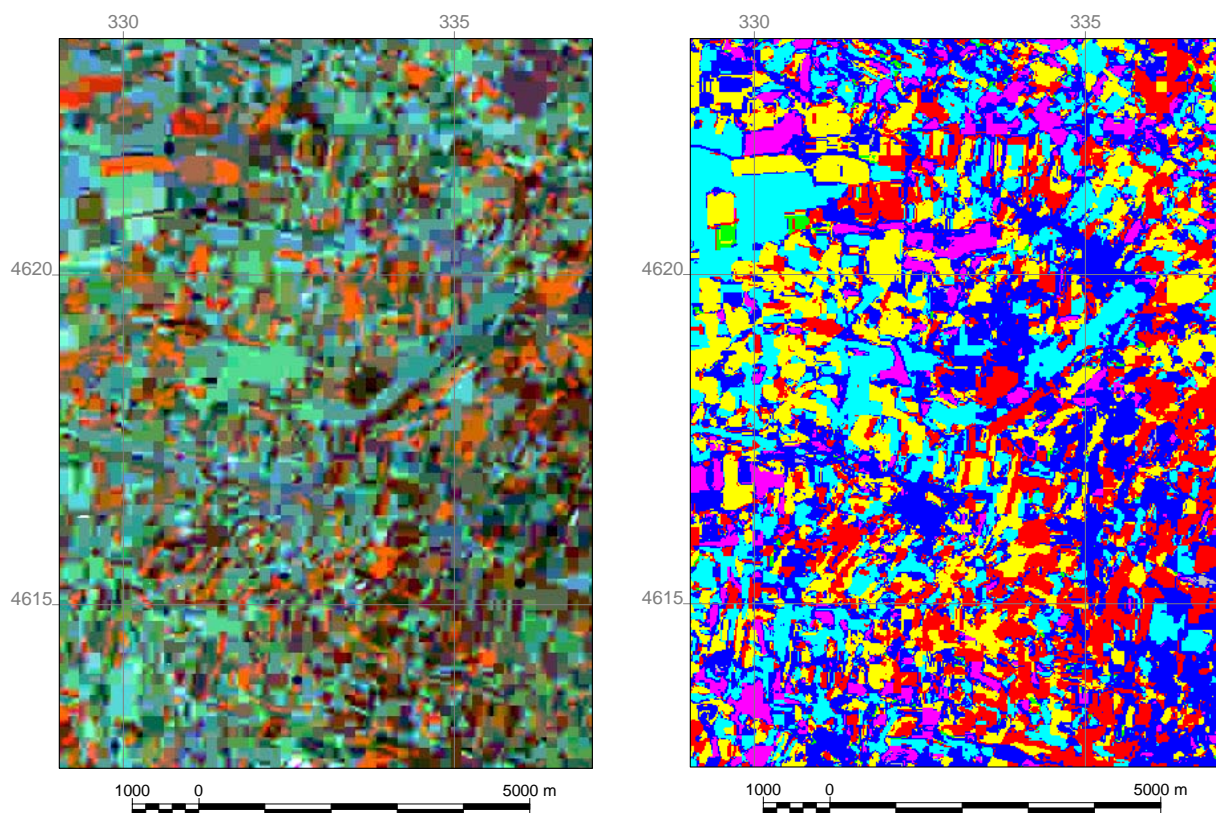


Figura 18: a) Composició RGB (4, 5, 3) de la imatge del 13-06-2002 sobre la zona agrícola del Pla d'Urgell en fer una compressió JPG a CR 0.01. b) Classificació obtinguda (vegeu llegenda a Figura 20)

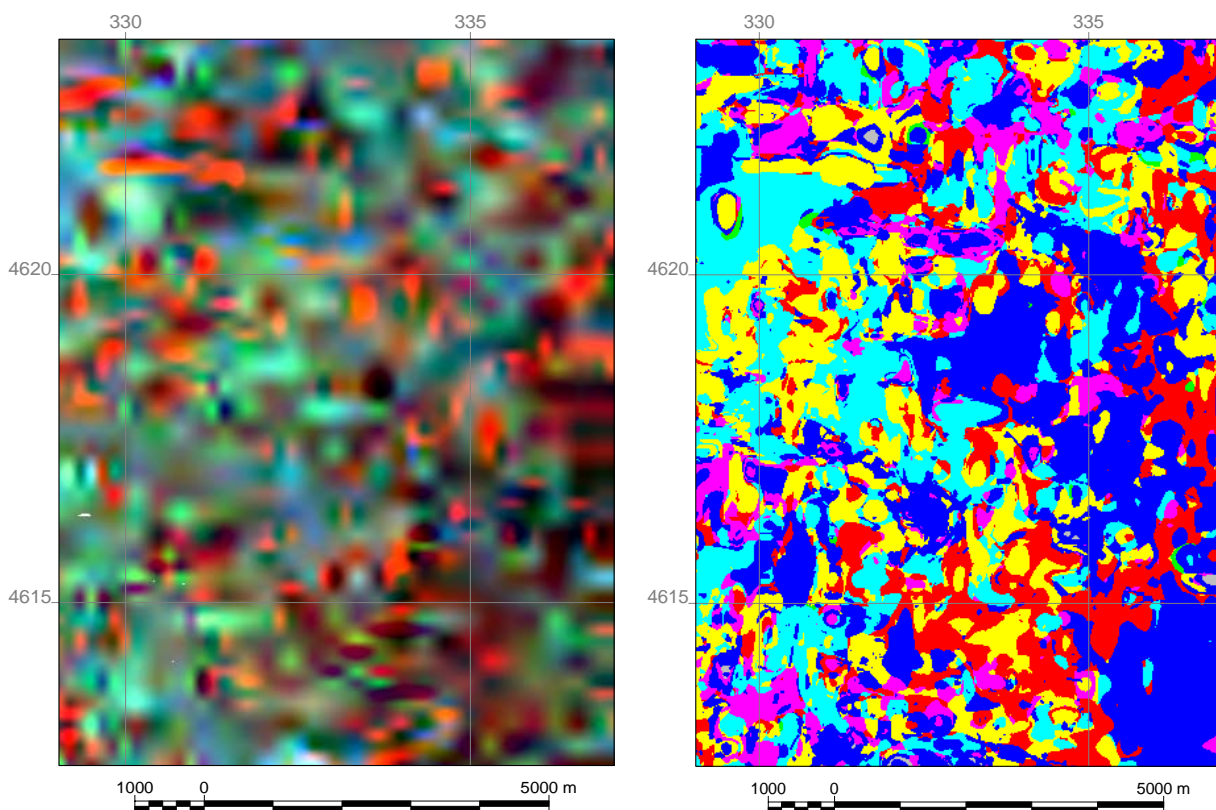


Figura 19: a) Composició RGB (4, 5, 3) de la imatge del 13-06-2002 sobre la zona agrícola del Pla d'Urgell en fer una compressió J2K a CR 0.01. b) Classificació obtinguda (vegeu llegenda a Figura 20)



Figura 20: Llegenda de les classificacions sobre la zona agrícola del Pla d'Urgell (Figures 17 a 19)

També és important destacar que a les zones limítrofes entre classes espectrals molt diferenciades, la compressió produeix efectes de barreja que comporten errors en aquestes zones. A la Figura 21 es pot observar que a la classificació basada en JPEG 2000 les zones limítrofes entre la userda (groc) i els cereals d'hivern (blau fosc) i el blat de moro (blau clar) es classifiquen com arbres fruiters (vermell).

Aquests efectes de frontera tindran especial impacte en futurs estudis de canvis d'usos dels sòl que podran veure emmascarats els seus resultats per la classificació errònia a les zones limítrofes, fet agreujat per la quasi inexistència d'àrees de test a aquestes zones, de manera que no es veu reflectida la disminució de l'incert global.

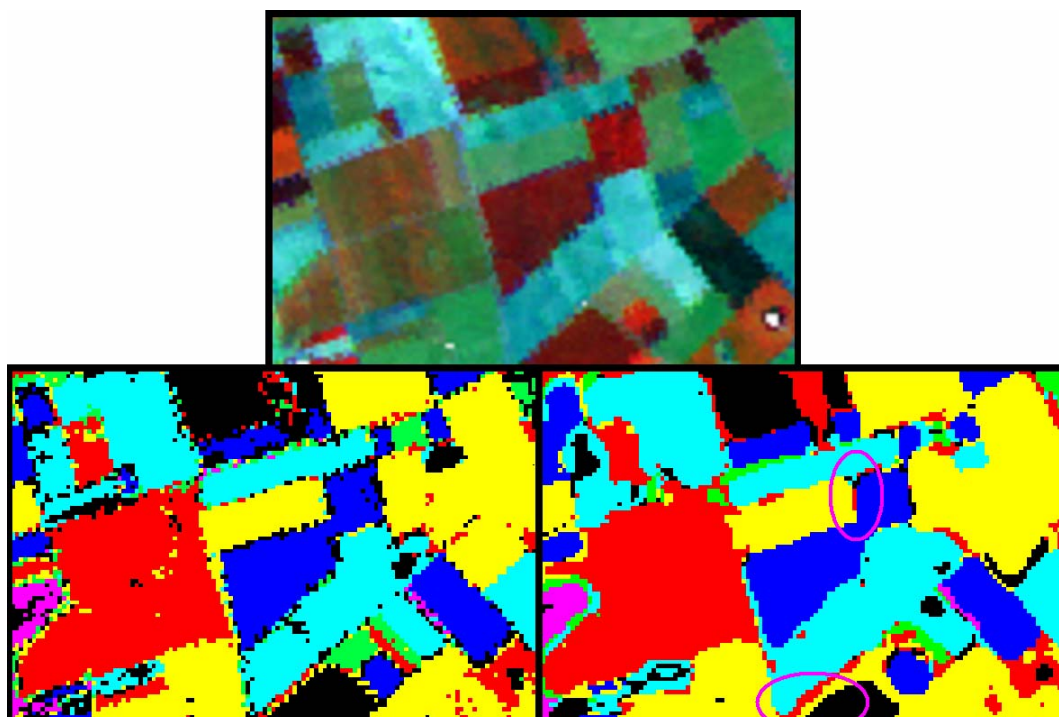


Figura 21: Efectes de frontera (zona agrícola): composició RGB bandes 4, 5, 3 (superior), classificació original (esquerra) i classificació J2K - CR 0.01 (dreta)

El mètode d'avaluació utilitzat pot estar subestimant els errors de les classificacions generades donat que pel mètode d'obtenció de les àrees de test (vegeu apartat 3.4.1) aquestes no se situen a les zones de vores, a les quals hi ha probablement més conflicte. Una opció podria ser avaluar totes les classificacions contra una altra cartografia de referència que pugi ser considerada com a veritat terreny. També és possible, evidentment, realitzar treball de camp per a obtenir dades de veritat-terreny per a avaluar les classificacions, però aquest tipus de mètode és d'un altre ordre de magnitud tant a nivell de pressupost com de temps requerit per portar a terme l'avaluació. Alguns dels estudis previs consideren com a veritat terreny la classificació obtinguda a partir de les imatges originals (Paola & Schowengerdt 1995), però aquesta aproximació tampoc ens sembla encertada donat que la classificació original també té errors i que, en alguns casos, la classificació a partir d'imatges comprimides pot obtenir millors resultats en l'avaluació que la classificació original (per exemple per l'efecte d'homogeneització ja comentat).

Futurs treballs també podrien intentar millorar encara més els resultats de JPEG 2000 ja que en la situació actual els resultats d'aquest escenari de compressió es poden haver vist afectats pel fet de treballar en format byte i per no comprimir les diferents bandes en un mateix fitxer JPEG 2000, fet que hauria aconseguit una compressió més eficient de les bandes com a conjunt. La compressió s'ha realitzat sense aprofitar aquests avantatges de JPEG 2000 per a poder comparar els resultats obtinguts amb els obtinguts per JPEG clàssic.

6 CONCLUSIONS

A partir dels resultats obtinguts en aquest treball de recerca es pot concloure que:

- En zones forestals, i si es vol emprar el format de compressió JPEG clàssic, s'aconsella comprimir les imatges si es treballarà amb un escenari de classificació que utilitzi només variables radiomètriques (fins a una CR 0.20-0.10) però es desaconsella si es volen usar també variables topo-climàtiques.
- En zones forestals, i si es vol emprar el format de compressió JPEG 2000, s'aconsella també comprimir les imatges si es treballarà amb un escenari de classificació que utilitzi només variables radiomètriques (fins a una CR 0.10-0.05) però no es recomana especialment si es volen usar també variables topo-climàtiques (fins a una CR 0.30).
- En zones agrícoles, i si es vol emprar el format de compressió JPEG clàssic, s'aconsella comprimir les imatges si es treballarà amb un escenari de classificació que utilitzi només variables radiomètriques (fins a una CR 0.20) i es desaconsella si es volen usar també altres variables en la classificació (NDVI i humitat).
- En zones agrícoles, i si es vol emprar el format de compressió JPEG 2000, no es recomana especialment comprimir les imatges ni en un escenari de classificació que utilitzi només variables radiomètriques (fins a una CR 0.30) ni si es volen usar també altres variables en la classificació (NDVI i humitat, fins a una CR 0.40).
- El format de compressió JPEG 2000 elimina els efectes de sal i pebre de manera que el resultat és visualment millor sempre i quan no se superin les CR òptimes indicades pels diferents escenaris.
- Tant el format JPEG clàssic com el format JPEG 2000 a CR massa reduïdes generen en primer lloc efectes visuals que no es reflecteixen en els resultats numèrics de l'avaluació de la classificació (amb els mètodes d'avaluació utilitzats) i, a CR encara més reduïdes, aquests efectes esdevenen notables també en els resultats de l'avaluació de la classificació.

7 BIBLIOGRAFIA

- Aboufadel, E. (2001): *JPEG 2000: the next compression standard using wavelet technology*. The Internet. http://www.gvsu.edu/math/wavelets/student_work/EF/index.html
- ACDC (2001): *Atlas Climàtic Digital de Catalunya*. The Internet. <http://magno.uab.es/atles-climatic>
- Adams, M. D. (2001): *The JPEG-2000 still image compression standard*, ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 N2412. 17
- Aulí-Llinàs, F.; J.R. Paton, J. Bartrina-Rapesta, J.L. Monteagudo-Pereira, J. Serra-Sagristà (2005): "J2K: introducing a novel JPEG2000 coder". In: SPIE, IST (Ed.) *Visual Communications and Image Processing. Society of Photo-optical Instrumentation Engineers (SPIE)*, Beijing, China.
- Burriel, J.A.; J.J. Ibáñez, X. Pons (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.
- CHC (1991): *Cartografia dels Hàbitats de Catalunya*. The Internet. <http://www.gencat.net/mediamb/pn/2chabitats-2.htm>
- Chuvieco, E. (2002): *Teledetección ambiental*. Ed. Ariel. Barcelona. 587 p.
- Crist, E. P.; R. Laurin, R. C. Cicone (1986): "Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data". In European Space Agency (Ed.) *Proceedings of IGARSS' 86 Symposium*, Paris, pp. 1465-70. Paris.
- Duda, R.D.; P.E. Hart (1973): *Pattern Classification an Scene Analysis*. John Wiley & sons. New York.
- Foody, G.M. (2002): "Status of land cover classification accuracy assessment". *Remote Sensing of Environment*, 80, pp. 185-201.
- IJG (1998): *Independent JPEG Group*. The Internet. <http://www.ijp.org/>
- ISO 19115 (2003): *International Standard: Geographic information – Metadata. ISO 19115:2003*. Technical Committee 211
- 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*.
- Julià, N.; J. Masó, A. Zabala, M. Vallès (2005): "CaMM, Catálogo de Metadatos de MiraMon: Implementación en una corporación, el DMAH". *Revista Mapping*. Número 105 · ESPECIAL - OCTUBRE de 2005.
- Kauth, R.J.; G.S. Thomas (1976): "The tasselled cap –a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat". In *LARS: Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*. West Lafayette, Purdue University Press, 4B-41-4B-51.
- Kettig, R.L.; D.A. (1975): "Classification of multispectral image data by extraction and classification of homogeneous objects." *Proceedings of the Symposium on Machine*

Classification of Remotely Sensed Data. West Lafayette. Lab for Applications in Remote Sensing, pp. 2A-1-2A-11.

- Kiema, J.B.K. (2000): "Wavelet Compression and the Automatic Classification of Landsat Imagery". *Photogrammetric Record*, 16 (96), 997-1006.
- Lam, W.K.K.; Z.L. Li, X.X. Yuan (2001) "Effects of JPEG compression on the accuracy of digital terrain models automatically derived from digital aerial images". *Photogrammetric Record*, 17 (98): 331-342.
- Landgrebe D. (2000): "Information Extraction Principles and Methods for Multispectral and Hyperspectral Image Data". In C. H. Chen (Ed.) *Information Processing for Remote Sensing*. World Scientific Publishing Co. USA.
- Lee, J.B.; A.S. Woodyatt, M. Berman (1990): "Enhancement of high spectral resolution remote sensing data by a noise-adjusted principal components transform". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28: 295-304.
- Li, Z.L.; X.X. Yuan, W.K.K. Lam (2002): "Effects of JPEG compression on the accuracy of photogrammetric point determination". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(8): 847-853.
- Lyon, J.G.; A. Ward, B.C. Atherton, G. Senay, T. Krill (2003): "Remote sensing and GIS for site-specific farming". In J.G. Lyon (Ed.): *GIS for water resources and watershed management*, , pp. 251-253, Boca Raton: CRC Press.
- Moré, G.; J.A. Burriel, R. Castells, J.J. Ibáñez, X. Roijals (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.
- Moré, G.; J.A. Burriel, R. Castells, J.J. Ibáñez, X. Pons, X. Roijals (2004b): "Diferenciación de cubiertas de bosque para el Mapa de Cubiertas del Suelo de Catalunya a partir de la clasificación de imágenes Landsat", *Jornadas de inventario y teledetección forestal (INVETEL 2004)*.
- Ninyerola, M.; X. Pons, J.M. Roure (2000): "A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques". *International Journal of Climatology*. 20: 1823-1841
- Palà, V.; X. Pons (1995): "Incorporation of relief into geometric corrections based on polynomials", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 61, N. 7, pp. 935-944.
- Paola, J.D., R.A. Schowengerdt (1995): "The effect of lossy image compression on image classification". *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1995. IGARSS '95. 'Quantitative Remote Sensing for Science and Applications'*, International 1: 118 -120.
- Pennebaker, W.B., J.L. Mitchell (1993): *JPEG still image data compression standard*. Van Nostrand. New York, NY.

- Pérez, C.; D. Aguilera, A. Muñoz (2003): "Estudio de viabilidad del uso de imágenes comprimidas en procesos de clasificación". In Perez Utrero, R., P. Martínez Cobo. *Teledetección y desarrollo regional. X Congreso Nacional de Teledetección*. ISBN: 84-607-8649-8. pp 309-312.
- Pons, X.; Ll. Solé-Sugrañes (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, CREAF, Bellaterra.
- Salvador, R.; X. Pons, F. Diego (1996): "Validación de un método de corrección radiométrica sobre diferentes áreas montañosas". *Revista de Teledetección*, 7:21-25.
- Serra, P.; X. Pons, D. Saurí (2003): "Post-classification change detection with data from different sensors. Some accuracy considerations", *International Journal of Remote Sensing*, 24, 16, pp. 3311-3340.
- Serra, P., G. Moré, X. Pons (2006): "Weighting fidelity versus classified area in remote sensing classifications from a pixel and a polygon perspective" In *Seventh International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*. 5-7 July. (en premsa)
- Shih, T.Y.; J.K. Liu (2005): "Effects of JPEG 2000 compression on automated DSM extraction: Evidence from aerial photographs" *Photogrammetric Record*, 20 (112).
- Taubman, D.S.; M.W. Marcellin (2002): *JPEG 2000: Image compression fundamentals, standards and practice*. Kluwer Academic Publishers.
- Tintrup, F., F. De Natale, D. Giusto (1998): "Automatic land classification vs. data compression: a comparative evaluation". *Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, 1998. IGARSS '98*. 1998 IEEE International, 4: 1751 –1753.
- Tintrup, F., F. De Natale, D. Giusto (1998b): "Compression algorithms for classification of remotely sensed images". *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1998. ICASSP '98. Proceedings of the 1998 IEEE International Conference*, Volume: 5 , 12-15 May 1998: 2565 –2568.
- Wallace, G.K. (1991): "The JPEG still picture compression Standard". *Communications of the ACM*, 34(4): 30-44.
- Xu, B.; P. Gong, E. Seto, R. Spear (2003): "Comparison of gray-level reduction and different texture Spectrum encoding methods for land-use classification using a panchromatic Ikonos image". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(5): 529-536.
- Zabala, A.; X. Pons (2002): "Image Metadata: compiled proposal and implementation" In: Benes, T. (ed.) *Geoinformation for European-wide Integration*. Millpress, Rotterdam (p. 674-652). ISBN: 90-77017-71-2
- Zabala, A., J. Masó (2005): "Integrated hierarchical metadata proposal: series, layer, entity and attribute metadata". In XXII International Cartographic Conference (ed.) *Mapping*

approaches into a changing world" (CD-ROM). ISBN: 0-958-46093-0, Fitxer: "ALAITZ ZABALA.pdf"

- Zabala, A.; X. Pons, J. Masó (2006): "Metadatos para Capas y Series Cartográficas. Modelo de Herencia de Metadatos". *In JIDEE 2006. (En premsa; es presentarà com a comunicació oral el 19 o 20 d'octubre de 2006 a Castelló)*

8 ANNEX: PUBLICACIONES REALITZADES

8.1 PUBLICACIONS EN CONGRESSOS NACIONALS

De la temàtica d'aquesta memòria de recerca

- ZABALA, A. i X. PONS (2005) "Efecto de la compresión degradativa de imágenes sobre la clasificación de zonas de vegetación natural". *In* Arbelo, M. *et al.* (ed.) "Teledetección. Avances en la observación de la tierra". p. 491-494. ISBN: 84-609-6894-4, Tenerife 2005. *(Presentat com a comunicació oral)*
- ZABALA, A.; X. PONS, G. MORÉ, P. SERRA (2006) "Efectos de la compresión de imágenes con pérdida (JPEG y JPEG 2000) en la clasificación digital de cultivos y zonas forestales". *In* XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica (CNTIG): El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas". *(En premsa; es presentarà com a pòster, dins un sistema de relatoria, el 20 de setembre de 2006 a Granada)*

D'altres temàtiques

- ZABALA, A.; J. MASÓ i X. PONS (2003) "Metadatos para bases cartográficas digitales". CD-ROM: Actas de la 5ª Semana Geomática. Institut de Geomàtica. Barcelona. *(Presentat com a comunicació oral)*
- ZABALA, A, J. MASÓ (2004) "Aplicación del estándar ISO 19139 a un modelo relacional de capa, tablas y campos". JIDEE 2004. Publicado en internet: http://idee.unizar.es/jidee/documentos_en_linea/papers/1099063647124AZabala_JMaso_ISO19139_modelo_relacional.pdf *(Presentat com a comunicació oral)*
- JULIÀ, N.; J. MASÓ, A. ZABALA, M. VALLÈS (2005) "CaMM, Catálogo de Metadatos de MiraMon: Implementación en una corporación, el DMAH". CD-ROM: Actas de la 6ª Semana Geomática. Sensors d'alta resolució i les seves aplicacions. Dipòsit legal: B-8737-2005. Fitxer: S27.doc. *(Presentat com a comunicació oral)*
- ZABALA, A.; J. MASÓ, A. LLEOPART, D. BARROT (2005). "Modelo de datos UML y XML de la Base topográfica 1:5000 v2 del Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC) basado en estándares ISO19000". JIDEE 2005. Publicado en internet: http://www.idee.upm.es/jidee05/descargas/sesion_03_04.pdf. *(Presentat com a comunicació oral)*
- ZABALA, A.; X. PONS, J. MASÓ (2006). "Metadatos para Capas y Series Cartográficas. Modelo de Herencia de Metadatos". *In* JIDEE 2006. *(En premsa; es presentarà com a comunicació oral el 19 o 20 d'octubre de 2006 a Castelló)*

8.2 PUBLICACIONS EN CONGRESSOS INTERNACIONALS

De la temàtica d'aquesta memòria de recerca

- ZABALA, A.; X. PONS, J. MASÓ, F. GARCÍA, F. AULÍ, J. SERRA (2005) "Effects of JPEG 2000 lossy compression on remote sensing image classification for mapping natural areas". *In* "9th WSEAS International CSCC Multiconference: CIRCUITS'05, SYSTEMS'05, COMPUTERS'05, COMMUNICATIONS'05". WSEAS Multiconference CSCC, Nikos E. Mastorakis and Kostas Passadis, July 2005. ISBN: 960-8457-29-7. *(Presentat com a comunicació oral)*

- ZABALA, A.; X. PONS, DÍAZ-DELGADO, R.; F. GARCÍA, F. AULÍ, J. SERRA (2006) "Effects of JPEG and JPEG 2000 Lossy Compression on Remote Sensing Image Classification for Mapping Crops and Forest areas". *In* "2006 IEEE International Geoscience And Remote Sensing Symposium. IGARSS 06: Remote Sensing: A Natural Global Partnership". (En premsa; es presentarà com a pòster l'1 d'agost de 2006 a Denver, Colorado, USA)

D'altres temàtiques

- ZABALA, A. i X. PONS (2003) "Image Metadata: compiled proposal and implementation" *In*: Benes, T. (ed.) "Geoinformation for European-wide Integration". Millpress, Rotterdam (p. 674-652). ISBN: 90-77017-71-2. (Presentat com a comunicació oral)
- JULIÀ, N., A. ZABALA i J. MASÓ (2004) "CaMM, MiraMon Metadata Catalog for geospatial data: a Corporative Implementation". EOGeo. Natick (MA, USA). (Presentat com a comunicació oral)
- ZABALA, A. i J. MASÓ (2005) "Integrated hierarchical metadata proposal: series, layer, entity and attribute metadata". *In* XXII International Cartographic Conference (ed.) "Mapping approaches into a changing world" (CD-ROM). ISBN: 0-958-46093-0, Fitxer: ALAITZ ZABALA.pdf (Presentat com a comunicació oral)
- ZABALA, A. i J. MASÓ (2006) "Combining ISO data model and feature catalog with GML application schemas. The Catalan 1:5000 topographic map case". *In* "GeoWeb 2006 - Everything Is Connected". (En premsa; es presentarà com a comunicació oral, el 28 de juliol de 2006 a Vancouver, British Columbia, Canada)

8.3 PUBLICACIONS EN REVISTES NACIONALS

D'altres temàtiques

- JULIÀ, N.; J. MASÓ, A. ZABALA, M. VALLÈS (2005) "CaMM, Catálogo de Metadatos de MiraMon: Implementación en una corporación, el DMAH". *Revista Mapping*. Número 105 · ESPECIAL - OCTUBRE de 2005.

8.4 PUBLICACIONS EN REVISTES INTERNACIONALS

De la temàtica d'aquesta memòria de recerca

- ZABALA, A.; X. PONS, J. MASÓ, F. GARCÍA, F. AULÍ, J. SERRA (2005) "Evaluation of JPEG and JPEG2000 effects on remote sensing image classification for mapping natural areas". *WSEAS TRANSACTIONS on INFORMATION SCIENCE and APPLICATIONS*. 2 (June 2005), no. 6, 717-725. ISSN: 1790-0832.