

Capítol 4. Teledetecció i canvis d'usos del sòl 1977-1993 i 1991-1997

4.1 Introducció

La teledetecció, en un sentit ampli, es pot definir com la tècnica que permet obtenir informació sobre objectes, àrees o fenòmens, a través de l'anàlisi de les dades adquirides per un instrument que no està en contacte amb ells (Chuvieco, 1996a). Es tracta de la traducció d'un terme anglès *remote sensing*, encunyat a principis dels 1960 per designar l'observació de la fotografia aèria. En un sentit més restringit, es pot definir com aquella tècnica que permet adquirir imatges de la superfície terrestre des de sensors instal·lats en plataformes espacials i el seu posterior tractament. És dins d'aquesta definició en la qual s'enquibeix el present estudi: l'ús d'imatges de satèl·lit i el seu tractament posterior.

La teledetecció, emprada com instrument per a la localització de les cobertes i usos del sòl (CUS) i dels seus canvis temporals, presenta algunes avantatges respecte a la fotografia aèria, tradicionalment l'eina més emprada: ens permet obtenir imatges periòdiques de les àrees d'interès (gràcies a aquest fet podem observar fenòmens dinàmics i analitzar-los multitemporalment) i, a més, totes les dades proporcionades pels satèl·lits són força fàcilment georeferenciables i estan emmagatzemades en format digital, facilitant-nos el seu tractament.

Hi ha dos mètodes per a la detecció de canvis de les CUS (Singh, 1989):

1. Anàlisi comparativa de classificacions independents de diferents dates, anomenada comparació postclassificació.
2. Anàlisi simultani de dades multitemporals.

Ambdós mètodes presenten avantatges i desavantatges. El primer mètode, que es realitza a través de la sobreposició dels dos mapes finals, té algunes fonts d'incertesa, com (Aspinall i Hill, 1997):

- a) Registre erroni de la frontera dels polígons en les diferents classificacions, d'aquí la presència de píxels mal localitzats, donant lloc al que es coneix com esclatxes (*slivers* en anglès) en format vectorial, polígons estrets de dubtosa interpretació (Christman, 1987; Goodchild et al., 1992).
- b) Problemes derivats dels errors de classificació a causa que un o ambdós polígons estan erròniament etiquetats, donant lloc a canvis positius falsos, quan els canvis són ficticis, o a canvis negatius falsos, quan no han estat identificats però realment s'han donat.

Aquest mètode requereix una gran exactitud temàtica d'ambdues classificacions, ja que la precisió del mapa de canvis és el producte de multiplicar les exactituds de cadascuna individualment (Singh, 1989; Lambin i Strahler, 1994).

El segon mètode presenta diversos procediments, com la classificació multidata, la resta d'imatges, la resta d'índexs de vegetació, l'anàlisi de components principals o l'anàlisi dels vectors de canvi (Eastman i Fulk, 1993; Salvador et al., 2000; Fung i LeDrew, 1987; Lambin i Strahler, 1994). En tots ells, la premissa bàsica és que els canvis en les CUS són el resultat dels canvis en els valors de reflectància de les CUS, que han de ser més grans que els causats per altres factors com les diferents condicions atmosfèriques, l'angle solar, la humitat del sòl o la calibració del sensor. Aquest requeriment pot ser parcialment reduït amb la selecció de dates tan similars com sigui possible, minimitzant els problemes relacionats amb la posició solar i la fenologia de la vegetació, malgrat que difícilment serà aplicable quan els canvis hagin de ser detectats intraanualment o quan l'àrea estigui ennuvolada o quan sigui difícil obtenir dates properes (Pilon et al., 1988).

Altres problemes relacionats amb els procediments d'anàlisi multitemporals estan relacionats amb la informació que aporten; normalment parteixen de llegendes amb molt poques categories de canvi (Michalak, 1993) ja que s'han d'especificar a través de les àrees d'entrenament. A més, és molt problemàtic l'establiment del llindar a partir del qual es discrimina un canvi d'un no canvi (Smits i Annoni, 1999). Finalment, el mal registre entre imatges també afecta aquest mètode.

Quan per necessitats de la recerca, sobretot per la seva component històrica en el nostre cas, hem de treballar amb dades provinents de diferents sensors (com a Fung, 1992; Jensen *et al.*, 1995; Lodhi *et al.*, 1998) per ambdós mètodes apareixen problemes extres:

- La diferent mida del píxel afecta la classificació resultant ja que determinats objectes no són detectats per la resolució més grollera, mentre que en la més fina sí i per tant a l'hora de combinar ambdues fonts d'informació no estarem comparant el mateix.
- A causa de la diferent mida del píxel i/o a l'origen de malla, la sobreposició es complica incrementant els problemes causats pel mal registre de les imatges.
- El nombre de bandes i la longitud d'ona (la resolució espectral) és diferent.

Davant les dues opcions per a la detecció de canvis, finalment es va escollir el primer mètode (postclassificació) perquè semblava ser el que tenia més sentit en la nostra recerca

(llegenda més detallada, etc.) i normalment és el mètode més emprat (Congalton i Macleod, 1994). En relació als problemes derivats del fet de disposar de dades de diferents sensors, un cop analitzats a través d'una àrea pilot (Serra, 1998), es va optar per solucionar-los realitzant l'anàlisi entre imatges extretes de mateix sensor, o sigui, s'analitzaren els canvis en les CUS entre 1977 i 1993 amb *Multispectral Scanner* (MSS), i entre 1991 i 1997 amb *Thematic Mapper* (TM).

4.2 Material disponible

En primer lloc, cal dir que s'ha treballat amb imatges del satèl·lit americà LANDSAT, d'òrbita heliosíncrona (òrbita quasi polar amb unes característiques tècniques adients perquè el satèl·lit passi sempre a la mateixa hora local per un lloc concret), el qual suporta sensors de caràcter passiu (a diferència dels sistemes radars, que són actius), o sigui, sensors que capten l'energia electromagnètica que els arriba, emesa o reflectida per la terra. A continuació es presenten, breument, els sensors emprats:

- ❖ El sensor MSS. Les imatges de 1977 i de 1978 són del sensor *Multispectral Scanner* (MSS) del satèl·lit Landsat-2, mentre que les de 1993 són del sensor MSS del Landsat-5. Aquest sensor treballava amb dues bandes de l'espectre visible, les de longitud d'ona pertanyents a 500-600 nanòmetres (nm), el canal verd, i a 600-700 nm, el canal vermell, i amb dues de l'infraroig pròxim, de 700-800 i de 800- 1100 nm. La mida del píxel és de 79 metres x 56 metres i la resolució radiomètrica de 6 bits (64 nivells de gris). La resolució temporal, o sigui, el període de temps que tardava en passar pel mateix lloc, era de 18 dies.
- ❖ El sensor TM. Les imatges de 1991, 1992, 1996 i 1997 són del sensor *Thematic Mapper* (TM) del Landsat-5. Aquest sensor treballava en tres bandes de l'espectre visible, les de longitud d'ona pertanyents a 450-500 nanòmetres (nm), el canal blau, a 520-600 nm, el canal verd i a 630-690 nm, el canal vermell; una en l'infraroig pròxim (canal 4), a 760-900 nm, una en la tèrmica (canal 6), a 10 400-12 500 nm, no usada en aquest estudi i, finalment, dues en l'infraroig mitjà (canals 5 i 7), a 1550-1750 i a 2080-2350 nm, respectivament. La mida del píxel és de 30 metres x 30 metres, la resolució radiomètrica de 8 bits (256 nivells de gris) i la resolució temporal és de 16 dies.

Les dates de les imatges digitals emprades han estat les següents: tres del sensor MSS del Landsat-2 (13 de juliol de 1977, 2 de juny de 1978 i 18 de setembre de 1978), dues del sensor MSS del Landsat-5 (28 de juny de 1993 i 31 d'agost de 1993) i sis del sensor TM del Landsat-5 (22 de maig de 1991, 19 de juliol de 1992, 3 de maig de 1996, 20 de juny de 1996, 9 de juliol de 1997, 23 d'agost de 1996, i 11 de setembre de 1997).

Com es pot observar, no totes les imatges corresponen al 1977 ni al 1997; l'ideal hagués estat disposar de diferents mesos del mateix any però no ha estat possible, ja que en el moment de la seva adquisició calia que estiguessin lliures de núvols, entre d'altres problemes.

L'àrea d'estudi s'emmarca entre les coordenades UTM següents: 480000, 527880, 4665000 i 4704060, del fus 31, de l'hemisferi nord. A partir d'aquesta subimatge s'emmarca l'àrea d'estudi a través dels límits municipals dels vint-i-un municipis analitzats.

Una de les fonts d'informació més necessària en aquest estudi ha estat el model digital d'elevacions (MDE). Un model digital d'elevacions és una estructura numèrica de dades que representa la distribució espacial de l'altitud de la superfície del terreny. La unitat bàsica d'informació en un MDE és una cota, definida per un valor d'altitud z amb els valors corresponents d' x i y . En el model vectorial els atributs del terreny es representen mitjançant punts acotats, línies o polígons, mentre que en el model ràster les dades s'interpreten com el valor mitjà, o el central, dels píxels que tessellen el terreny amb una distribució regular, sense solapament i amb recobriment total de l'àrea representada (Felicísimo, 1997). Nosaltres vàrem emprar un Model Digital d'Elevacions (MDE) en format ràster (mapa 3.4 del capítol tercer).

El pas inicial per a la construcció d'un MDE va ser la recollida de la informació hipsomètrica, o sigui, la transformació de la realitat geogràfica a l'estructura digital de dades, que en el nostre cas va ser realitzada a partir de les corbes de nivell del topogràfic 1:5 000 de l'ICC. El següent pas va ser l'obtenció del MDE a través del programa ISOMDE de MiraMon que es basa en el traçat de vuit perfils entre les corbes de nivell mitjançant diversos tipus de funcions (lineals, etc.) segons l'entorn de cada punt del territori. En concret, el programa traça des de cada píxel: horitzontal, vertical, diagonals a 45 i 135° i rotats a 22.5, 67.5, 112.5 i 157.5°.

A continuació es relaciona la informació addicional disponible per a cada període analitzat (taules 4.1 i 4.2); tot aquest material es va emprar, en aquest capítol, per a l'obtenció de les àrees d'entrenament. Per als 1970 es disposava del Topogràfic de l'IGN, del mapa de Cultivos y Aprovechamientos i de diverses fotografies aèries. Per als 1990 es disposava del Topogràfic de

l'ICC a escala 1:50 000 i 1:5 000, dels Ortofotomapes en color en format digital, de fotografies aèries infraroig color i del mapa corresponent al Paratge Natural d'Interès Nacional de l'Albera.

Taula 4.1: Informació addicional disponible 1970s.

Nom	Institució	Any	Escala	Fulls	Observacions
Mapa Topogràfic Nacional	Instituto Geográfico Naciona (IGN)	1985	1: 25 000	258-I, 258-II i 258-IV	Informació vol fotogramètric 1972
Mapa de Cultivos y Aprovechamientos	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación	1978	1: 50 000	258, 296 i 297	Format digital vectorial
Fotos Aèries	IGN	1972 1973	1: 30 000 (aprox.)	296 i 258, passada 1,2,3 i 4 passada 4 de 9255 a 9261	Escanejades
Fotos Aèries	CETFA (companyia privada)	1977	1: 8 000 (aprox.)	258, passades de la B a la G	Escanejades
Fotos Aèries	Aeropost, S.A.	1976	1: 8 000 (aprox.)	Passada 8 de la 56397 a 56399 Passada 7 de 56410 a 56428 Passada 9 de 56387 a 56396	Escanejades

Taula 4.2: Informació addicional disponible 1990s.

Nom	Institució	Any	Escala	Fulls	Observacions
Mapa Topogràfic de l'Alt Empordà	Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC)	1996	1: 50 000	219,220,258,259 i 296	Format digital vectorial
Mapa Topogràfic de l'Alt Empordà	ICC	1995	1: 5 000	219,220,258,259 i 296	Format digital vectorial
Ortofotomapes	ICC	1993	1: 50 000	219,220,258,259 i 296	Format digital ràster amb un píxel de 2 metres i 24 bits de color
Fotos Aèries Infraroig color	ICC	1997	1: 60 000	220 (7719,7720,7819,7820) i 219 (7619 i 7620)	Píxel de 2.5 m
Paratge Natural d'Interès Nacional de l'Albera	ICC	1999	1: 25 000		Format analògic

4.3 Metodologia

4.3.1 Correccions geomètriques

La necessitat de corregir geomètricament les imatges satèl·lit, o sigui, l'eliminació de les deformacions i la posterior possibilitat de superposar a altres mapes, pot tenir diverses causes (Chuvienco, 1996): distorsions originades pel moviment de la plataforma (aleteig, capcineig i deriva), distorsions provocades per la rotació i curvatura terrestre, distorsions provocades pel relleu, etc.

En el cas concret de les imatges disponibles per a aquest estudi, cal dir que totes les provinents del sensor MSS en el moment de treballar-les havien estat corregides geomètricament per l'ICC, utilitzant el mètode de Palà i Pons (1995), que genera ortoimatges a partir del model digital d'elevacions (aquest emprat perquè considerem el relleu terrestre), mentre que totes les provinents del sensor TM les vàrem corregir a través del programa CorrGeom de MiraMon (Pons, 2000) que també incorpora el mateix mètode. En concret s'usaren les següents equacions (ajust polinòmic amb zetes):

$$\text{Per a les columnes: } \text{Col} = A + Bx + Cy + Dz + Ezx + Fzy$$

$$\text{Per a les files: } \text{Fil} = A' + B'x + C'y + D'z$$

on $A, B, C, D, E, F, A', B', C'$ i D' són els coeficients ajustats per mínims quadrats a partir dels punts de control i x, y, z són les coordenades mapa UTM_x, UTM_y i altitud.

Tant per corregir ràsters com vectors cal disposar d'un conjunt de punts de control sobre el terreny (*Ground Control Points* (GCP), en anglès), els quals poden ser ben identificats tant en el sistema de coordenades imatges (fila, columna) com en el sistema de coordenades de referència UTM (ortofotomapes a 2 m i el topogràfic 1:5000).

Per a una major fiabilitat estadística del procés de correcció geomètrica, CorrGeom permet que el fitxer de punts de control contingui dos subconjunts de punts, un que s'utilitza per a efectuar els ajustos de les equacions de correcció, i un altre, anomenats punts de test, que s'utilitza per a estimar l'error. Per a tots dos conjunts de punts, CorrGeom proporciona l'error *Root Mean Square* (RMS) o desviació estàndard dels errors en x i y per a cada punt així com pel conjunt de punts de control. L'RMS es calcula (Janssen i van der Wel, 1994):

$$\text{RMS}_x = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\delta_{xi})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

on, δ_{xi} és el residu del i GCP i n és igual al nombre total de GCPs. Per la y s'empra la mateixa fórmula, mentre que l'error total és igual a:

$$\varepsilon = \frac{RMS_x^2 + RMS_y^2}{n}$$

Finalment, es va realitzar un remostreig amb l'opció del veí més proper, ja que amb ella no es modifica la radiometria de les imatges. De totes maneres, normalment es perd detall espacial (vegeu figura 4.1 on s'observa que es perd el valor de dos píxels) i en el cas de les imatges TM es va veure factible extreure una mida de píxel menor de la nominal, en concret de 20 m x 20 m. Per a totes les imatges MSS, tant dels 1970 com dels 1990, l'RMS estava al voltant dels 54 metres, mentre que per a les TM al voltant dels 25 metres.

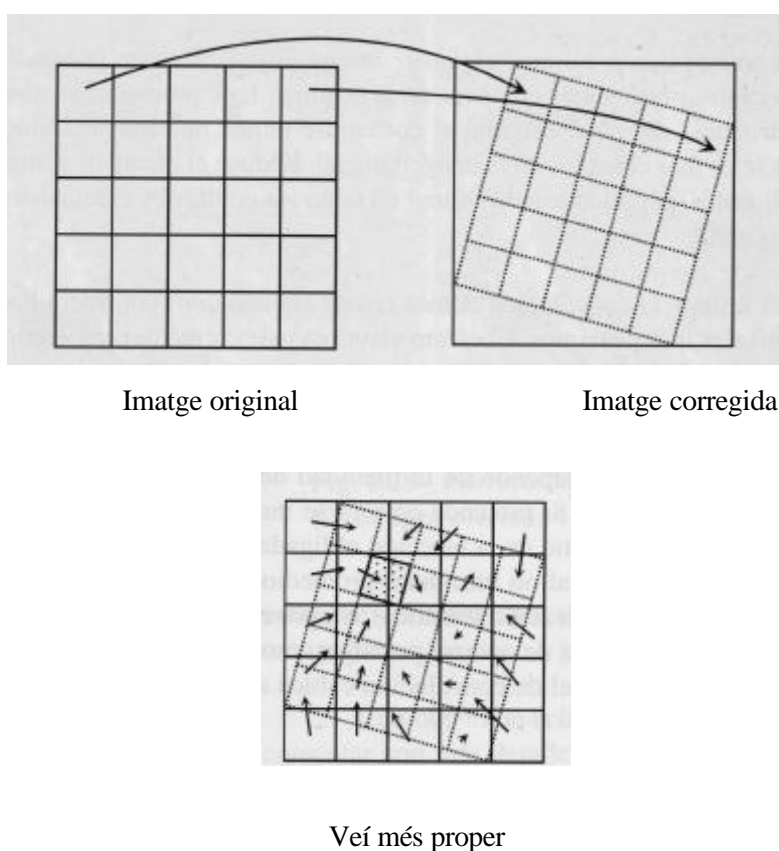


Figura 4.1: Remostreig segons el veí més proper. Font: Chuvieco, 1996

Per al cas de les fotografies aèries, la correcció geomètrica es va realitzar mitjançant equacions de col·linearitat ajustant-se els paràmetres d'actitud i posició de la càmera o sensor: omega, fi, kappa, Xc, Yc i Zc. A més, per poder determinar les equacions de transformació, també es requereix conèixer la focal de la càmera (f) i les coordenades del punt principal. La

mida de píxel resultant de les fotografies aèries escanejades i corregides va ser de 2 metres i l'error RMS entre els 2 i 4 metres. L'operació es realitzà, també, amb el mòdul CorrGeom.

4.3.2 Correccions radiomètriques

La correcció radiomètrica de les imatges, o sigui, arribar a uns valors propers als que tindríem en el cas d'una recepció perfecta, ha de tenir en compte diversos factors: la diferent il·luminació que rep cada píxel en funció de la posició solar i de les característiques de pendent i exposició, les diferents condicions atmosfèriques entre dates, la calibració dels sensors, etc.

Com que l'objectiu d'aquest estudi és la classificació, a través de l'anàlisi multitemporal de diverses imatges per a cada període, ens trobem amb la necessitat de realitzar la correcció radiomètrica per:

- Disposar de dades expressades en magnituds físiques (en reflectàncies), ja que les imatges originals estaven en *Digital Numbers* (DN).
- Disminuir el soroll introduït per les diferents condicions atmosfèriques i d'il·luminació.

Un efecte important en les imatges de satèl·lit és el relleu, ja que pot fer que l'angle entre la normal al terreny (o sigui, el pendent i l'orientació) i el vector solar (donat per l'azimut i l'altura solar) variï entre imatges. La correcció radiomètrica de les imatges es realitzà amb MiraMon, seguint el mètode Pons i Solé-Sugrañes (1994) a través dels següents passos:

1. Obtenció de l'altura i azimut solar en el moment de la presa de la imatge a través del mòdul ASTRES, que requereix la introducció de les coordenades latitud i longitud d'un punt central de l'àrea d'estudi junt el dia, mes i hora de pas del satèl·lit.
2. El mòdul OMBRA calcula per cada píxel l'angle d'elevació solar a partir del qual aquell píxel ja rep llum directa del Sol (ja no és a l'ombra d'un altre píxel).
3. El model d'il·luminacions calcula a partir d'un MDE la il·luminació que rep cada punt del terreny quan el Sol ocupa una certa posició, donada pel punt 1, a la volta celest. El resultat conté els valors del cosinus de l'angle d'incidència, o sigui, el cosinus de l'angle entre el vector normal al pla de màxim pendent en cada punt i el vector solar.
4. Seguidament, amb CORRAD s'introdueix el dia i mes de la imatge, l'altura solar anteriorment calculada, el valor més baix de cada canal (és el mètode de la resta del píxel més fosc de la imatge, que estigui a l'ombra, ja que la reflectància d'aquest que arriba al sensor és la de l'atmosfera), l'angle límit lambertià, el número del Landsat emprat, el del canal i el factor de reescalat de les reflectàncies (la reflectància té valors de 0 a 1 i es

reescalen de 0 a 255). En definitiva, el que té en compte aquest procés és la posició solar, la distància Terra-Sol, l'escorçament atmosfèric en els camins d'anada i tornada de la radiació i paràmetres estàndard, per a cada canal, de densitat òptica atmosfèrica, irradiància exoatmosfèrica solar i calibració del sensor. Aquest procés es realitzà per a totes les imatges i per a totes les bandes.

4.3.3 Fenologia dels conreus herbacis

El coneixement de la fenologia dels conreus, si més no a grans trets i donat que una part de l'àrea d'estudi és eminentment agrícola, ens permetrà una millor discriminació de les CUS, malgrat les dificultats intrínseques del territori.

Els conreus herbacis, seguint les fonts censals, es subdivideixen en secà i regadiu i dins d'aquests en cereals, llegums, tubercles, industrials, farratges i horta. Els cereals pertanyen a la família de les gramínies; dins d'ella, els cereals d'hivern tant de secà com de regadiu: blat, ordi, civada i segle pertanyen a les subfamílies de les festucoïdes i els cereals d'estiu tant de secà com de regadiu: blat de moro, sorgo, arròs, panís i mill a les panicoïdes (Pujol, 1985). Els usos són per a gra o per a farratges. La sembra dels cereals d'hivern es fa a finals d'hivern (febrer, març), mentre que la collita es fa durant l'estiu a partir del mes de maig/juny; primer es sega la civada o l'ordi i després el blat. La sembra dels cereals d'estiu (el blat de moro i el sorgo, tant de secà com de regadiu) es fa a la primavera, d'abril a maig, mentre que la collita es fa a la tardor, de setembre a novembre (Pujol, 1985; Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1982).

Dins dels llegums farratgers destaca la userda de secà i de regadiu, que es comença a sembrar per febrer, mentre que per maig es fan els primers dalls, fins a l'octubre o novembre. El gira-sol de secà i de regadiu, que s'engloba dins dels conreus industrials pel fet que requereix un tractament previ al seu ús final, es sembla per l'abril i es recol·lecta per setembre.

Els indicadors de la biomassa vegetal que capten els sensors són el nombre de fulles i l'amplada respecte al terreny cobert (l'índex foliar), la forma i el nombre de plantes per superfície, la posició de cada planta en relació a la seva veïna i l'estat fenològic. Tenint en compte que els conreus regats incrementen la producció, malgrat es desconegui quins efectes concrets tindran respecte a la resposta espectral, s'arribà a les següents hipòtesis:

- Els cereals d'hivern de secà i de regadiu tindran una resposta baixa a partir del juny (vegeu a la figura 4.2 un exemple).
- Els cereals d'estiu de secà i de regadiu tindran una resposta elevada a partir del juny.

- La userda de secà i de regadiu tindrà una resposta elevada a partir del maig.
- El gira-sol de secà i de regadiu tindrà una resposta elevada a partir del juny.

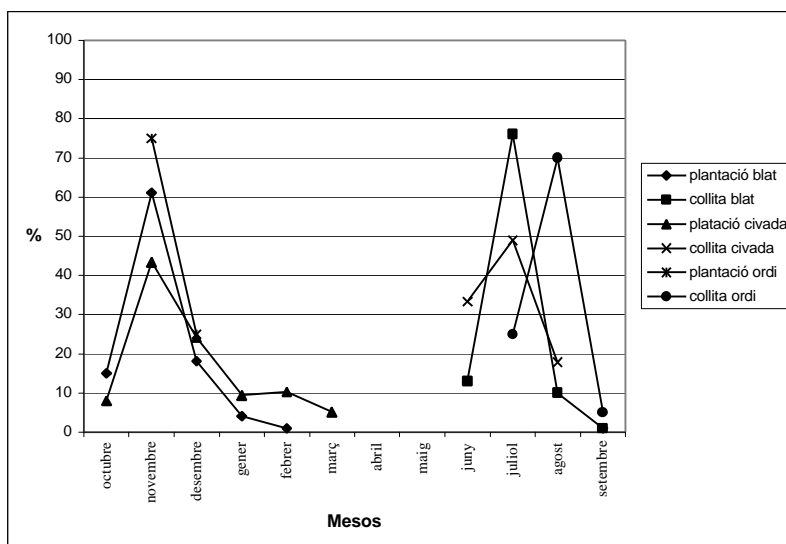


Figura 4.2: Fenologia dels cereals d'hivern. L'eix de les ordenades mostra el percentatge de plantació i collita dels respectius conreus. Font: Elaboració pròpia a partir de Pujol (1985) i MAPA (1982).

Dins de cada grup, gràcies al treball de camp realitzat amb els ortofotomapes en color i a la resta de cartografia digital disponible, s'intentà classificar els diversos conreus de la següent forma:

- El blat de moro, de secà i de regadiu junts, ja que com s'ha esmentant teòricament no se sabia quina resposta diferenciada poden donar; caldria disposar d'una biblioteca espectral o d'estudis fets amb radiòmetres de camp per saber-ho. Malgrat aquest fet, a causa de les característiques específiques d'aquesta planta, es parteix de la hipòtesi de que el sòl no es veurà malgrat sigui de secà. A més a més podem trobar parcel·les de blat de moro de regadiu que estiguin en un moment de creixement menor que en parcel·les de blat de moro de secà i per tant la resposta pot ser menor.
- El gira-sol de secà i de regadiu: s'ha d'esmentar el mateix que per al blat de moro.
- Els cereals d'hivern, de secà i de regadiu, dins del grup "resta herbacis de secà", a causa de l'època de collita, abans esmentada.
- El sorgo, de secà i de regadiu, dins del grup "resta herbacis de regadiu"; s'ha d'esmentar el mateix que per al cas del blat de moro.

- La userda, donada la mida més petita de la planta i de la fulla, s'ha considerat que la de regadiu s'inclouria dins la "resta herbacis de regadiu", o sigui, malgrat les característiques de la planta, el fet que es regués pot incrementar la densitat (plantes per hectàrea) i per tant la resposta pot ser elevada, mentre que la de secà dins la "resta herbacis de secà" ja que s'ha considerat que la densitat decreixia i, per tant, veure's part del sòl, disminuint la resposta espectral.
- La "resta herbacis de regadiu" inclou, també, tots els conreus restants amb una resposta radiomètrica de l'NDVI (vegeu apartat 4.3.5.2) relativament elevada (a partir de ≈ 0.4).
- La "resta herbacis de secà" inclou, també, tots els conreus restants amb una resposta radiomètrica de l'NDVI baixa (al voltant de 0)
- El guaret de secà i de regadiu s'han inclòs dins de la "resta herbacis de secà" ja que poden tenir vegetació de creixement espontani, no essent, doncs, sòl nu, que seria la classe amb la qual podria haver-hi més confusió.

4.3.4 Llegenda

Per a l'establiment de la llegenda es va tenir en compte els següents aspectes: els usos descrits a les estadístiques de les administracions, la resolució espacial, radiomètrica i espectral de les imatges, la fragmentació parcel·lària de l'àrea i la fenologia dels conreus i de la vegetació.

Per al 1977 i per al 1993 les CUS varen ser:

- Blat de moro de secà i regadiu.
- Resta herbacis de regadiu: sorgo de secà i regadiu, userda de regadiu i la resta d'herbacis de regadiu no inclosos en altres usos (horta, etc.).
- Resta herbacis de secà: tots els cereals d'hivern, tant de secà com de regadiu, el guaret de secà i de regadiu i la resta d'herbacis de secà no inclosos en altres usos.
- Fruïters de secà i de regadiu.
- Oliveres de secà i de regadiu.
- Vinyes.
- Matolls: bruc, estepa negra, garric, etc.
- Caducifolis: roures, faigs, castanyers, etc.
- Esclerofil·les: alzines i alzines sureres.
- Prats i pastures: closes i prats de dall.
- Superfície urbana: pobles, urbanitzacions, carreteres, etc.

- Sòl improductiu: sòl nu de pedreres, sorra de platja, etc.
- Rius i estanys.

Per al 1991 i 1997 varen ser les mateixes més:

- Arròs, reimplantat a partir de 1985 (vegeu capítol cinquè).
- Gira-sol de secà i regadiu, conreat a l'àrea arran de la Política Agrària Comuna (vegeu capítol cinquè).

4.3.5 Procés d'anàlisi i tractament de les imatges

En aquest apartat es presentarà les combinacions i les transformacions de les imatges realitzades (tant del sensor MSS com del TM) amb l'objectiu d'obtenir una màxima discriminació de les diferents cobertes a través de l'anàlisi visual i estadística per a la digitalització de les àrees d'entrenament.

4.3.5.1 Combinacions RGB

La combinació RGB (*Red, Green, Blue*) és el resultat d'aplicar a cada canal un dels tres colors primaris, el vermell, el verd i el blau, que són els que capten els nostres ulls. La primera combinació és la de color real o color natural en la qual es combina, per al cas del TM, el canal 3 amb el vermell, el canal 2 amb el verd i el canal 1 amb el blau; el resultat és una imatge tal com la veuríem a la realitat. Aquesta combinació, però, no és possible en el cas del MSS, ja que no té el canal blau.

Una altra combinació és la denominada en fals color, que seria, d'entre les moltes possibles, l'aplicació del canal 4 (infraroig pròxim) al color vermell, el canal 3 (vermell) al verd i el canal 2 (verd) al blau, obtenint-se un color vermellós per a les zones amb molta vegetació sana, etc., i que és similar a la clàssica de l'infraroig color de la fotografia aèria. Tanmateix, altres combinacions també poden ser visualment molt útils, com ara la 5-4-3, o la 7-4-3, etc.

Per obtenir, doncs, una combinació on aconseguim el màxim d'informació contrastada per a discriminar cobertes, s'analitzà la matriu de correlacions entre canals. A partir de la taula 4.3 s'observa les matrius de correlacions corresponents a algunes imatges. Per al cas de les imatges MSS (dels 1970 i dels 1990) la millor combinació era la 4-2-1, ja que el canal 3 és el

Taula 4.3: Matrius de correlacions de les imatges dels setanta (MSS) i de principis dels noranta (TM)												
Canals	c1_130777	c2_130777	c3_130777	c4_130777	c1_020678	c2_020678	c3_020678	c4_020678	c1_180978	c2_180978	c3_180978	c4_180978
c1_130777	1.00											
c2_130777	0.97	1.00										
c3_130777	0.77	0.79	1.00									
c4_130777	0.72	0.73	0.99	1.00								
c1_020678					1.00							
c2_020678					0.96	1.00						
c3_020678					0.79	0.78	1.00					
c4_020678					0.74	0.72	0.99	1.00				
c1_180978									1.00			
c2_180978									0.97	1.00		
c3_180978									0.74	0.77	1.00	
c4_180978									0.65	0.68	0.98	1.00
Canals	c1_190792	c2_190792	c3_190792	c4_190792	c5_190792	c7_190792	c1_220591	c2_220591	c3_220591	c4_220591	c5_220591	c7_220591
c1_190792	1.00											
c2_190792	0.88	1.00										
c3_190792	0.89	0.98	1.00									
c4_190792	0.39	0.71	0.64	1.00								
c5_190792	0.67	0.90	0.89	0.86	1.00							
c7_190792	0.66	0.70	0.73	0.45	0.68	1.00						
c1_220591							1.00					
c2_220591							0.88	1.00				
c3_220591							0.87	0.99	1.00			
c4_220591							0.29	0.64	0.59	1.00		
c5_220591							0.62	0.88	0.87	0.84	1.00	
c7_220591							0.77	0.94	0.95	0.66	0.95	1.00

Font: elaboració pròpia

més correlacionat amb la resta de canals, mentre que per les TM les combinacions poden variar (4-3-1, etc.) (vegeu imatges *Rgbmaig* i *Rgbset* en el CD).

4.3.5.2 *Normalized Difference Vegetation Index*

El *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) és un quocient píxel a píxel entre les reflectàncies de dues bandes de la mateixa imatge. L'objectiu és la discriminació de la coberta vegetal amb una resposta més elevada respecte de les cobertes sense vegetació. En concret s'aplica la següent fórmula:

$$NDVI = (\text{Canal Infrarroig proper} - \text{Canal vermell}) / (\text{Canal Infrarroig proper} + \text{Canal vermell})$$

Aquesta transformació es deriva de l'específic comportament radiomètric de la vegetació, la signatura espectral de la qual mostra un clar contrast entre el canal vermell, on els pigments de la fulla absorbeixen la major part de l'energia electromagnètica rebuda del Sol, i l'infraroig proper, on l'estructura interna de les fulles en reflecteix la major part. El resultat s'expressa entre -1 (manca total de biomassa verda) i 1 (existència de molta biomassa verda). En general, els valors més elevats (≈ 0.8) es donaven en el blat de moro, en els fruiters i en els caducifolis, mentre que els més baixos en l'aigua (-1) i en el sòl nu (-0.05). A les zones urbanes els valors eren molt propers a 0 (depenent de si havien superfícies arbrades o no), mentre que en la resta d'herbacis de secà els valors eren ≈ 0.1 (vegeu imatges *Ndvi978* i *NdviJul* en el CD).

Posteriorment, es va fer una resta dels índexs de vegetació corresponents als mesos més propers a la primavera (maig) i a l'estiu (agost), amb l'objectiu de discriminar més clarament els diferents usos (vegeu imatge *Resndvi* en el CD). Així, per exemple, les superfícies arbrades (fruiters i esclerofil·les, no tant en el cas dels caducifolis) donen respostes positives elevades tant a mitjans de maig com a l'agost i, per tant, les diferències són minses (≈ 0.1); els camps conreats amb blat de moro, en canvi, tenen una resposta molt baixa a mitjans de maig ja que estan sense cultivar o en l'inici del seu creixement i, per tant, la diferència serà elevada (≈ 0.8) ja que a l'agost estan en ple desenvolupament, tal com s'ha comentat anteriorment. Per a la resta d'usos del sòl l'anàlisi va seguir el mateix procés.

4.3.5.3 Anàlisi de Components Principals

L'Anàlisi de Components Principals (ACP) té com a objectiu resumir un grup ampli de variables en un nou conjunt, més reduït, sense perdre una part significativa de la informació original. En teledetecció s'usa com a conseqüència del fet que l'adquisició d'imatges sobre bandes adjacents de l'espectre implica freqüentment detectar informació redundat, ja que els diferents tipus de coberta tendeixen a presentar un comportament similar en regions pròximes a l'espectre. Aquest fet és constatable en la matriu de correlacions entre bandes presentada anteriorment; una banda pot presentar una important correlació amb una altra, i és per aquesta raó que les combinacions RGB de les imatges originals donen una primera aproximació a les cobertes del sòl, però comporten dubtes en l'anàlisi. Per tant, els CP permeten sintetitzar les bandes originals, creant unes noves bandes que recullin la major part de la informació original. Resulten molt convenients per a l'anàlisi multitemporal ja que permeten seleccionar les tres bandes més adequades per a una composició en color, essent aquest l'objectiu perseguit.

A continuació, es presenta la matriu de càrregues factorials (taula 4.4), a través de la qual s'evidencia l'associació entre cada component i les bandes originals. Els primers components són els que porten associada més variància, que va progressivament reduint-se fins arribar als darrers components on bàsicament apareix soroll. Per exemple, podem observar el cas de les imatges MSS dels 1970, on el primer component representa el 78.8% de tota la variància original. El segon component presenta una correlació negativa amb tots els canals corresponents al visible. El tercer component té una correlació negativa amb els canals de la imatge de juliol mentre que el quart la correlació negativa la presenta amb la imatge de juny de 1978. Aquesta anàlisi es realitzà per a totes les dates (vegeu imatge *Acp432* en el CD).

Components	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6
% variància	78.8	9.0	5.3	3.4	1.4	1.1
Autovalor	9.5	1.1	0.6	0.4	0.2	0.1
c1_130777	0.8	-0.3	-0.4	0.1	0.1	0.1
c2_130777	0.9	-0.3	-0.4	0.1	0.0	0.1
c3_130777	0.9	0.2	-0.2	0.0	-0.1	-0.1
c4_130777	0.9	0.3	-0.2	0.0	-0.1	-0.2
c1_020678	0.9	-0.3	0.1	-0.4	0.0	0.0
c2_020678	0.9	-0.3	0.1	-0.3	0.0	-0.1
c3_020678	0.9	0.2	0.1	-0.1	-0.1	0.2
c4_020678	0.9	0.3	0.1	-0.1	-0.1	0.2
c1_180978	0.8	-0.4	0.3	0.2	0.0	0.0
c2_180978	0.9	-0.3	0.3	0.2	-0.1	0.0
c3_180978	0.9	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0
c4_180978	0.9	0.4	0.1	0.1	0.2	0.0

Font: Elaboració pròpia.

4.3.6 Classificació

Tradicionalment, els mètodes de classificació es subdivideixen en dos grans grups:

1. La classificació supervisada a través de la selecció d'àrees d'entrenament que caracteritzen les categories d'interès; el mètode més emprat i robust és el màxim versemblant (Richards, 1993). Aquest mètode requereix que les categories segueixin una distribució normal però a causa de la diferent temporalitat en el creixement dels diferents conreus interanualment no solen seguir distribucions normals i, per tant, el mètode pot presentar resultats no fiables (Serra *et al.* 2000).
2. La classificació no supervisada on grups (*clusters* en anglès) de píxels que tenen un comportament espectral homogeni (classes espectrals) són agrupats automàticament a través de l'algorisme no jeràrquic *ISODATA* (*Interactive Self Organizing Data Analysis*) implementat a MiraMon. El programa requereix alguns paràmetres inicials (com el nombre de grups a obtenir, etc.) i a continuació localitza inicialment els centres dels *clusters* i assigna, posteriorment, els píxels a ells a través de la distància euclidiana:

$$d_{a,b} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (ND_{a,i} - ND_{b,i})^2}$$

on la distància entre dos píxels ($d_{a,b}$) és igual a l'arrel quadrada del sumatori de la resta entre els seus valors digitals (com tantes m bandes tingui) elevada al quadrat.

Aquest procés és iteratiu recalculant la nova localització dels centres de *cluster* i reassignant els punts, fins esgotar el nombre d'iteracions indicat.

Una vegada que els grups han estat obtinguts, s'estableix el patró de correspondències entre les classes espectrals i les categories CUS. Normalment, el procediment estàndard de classificació es basa en que cada classe espectral correspon a una i només una categoria de CUS, però aquest supòsit no sempre es dona ja que poden aparèixer diferents patrons de correspondència (Lark, 1995). Un altre problema és que en molts casos l'assignació es realitza seguint un criteri visual sense tenir en compte el grau de representació, etc.

Els patrons de correspondència entre classes espectrals i categories de CUS es poden resumir en tres situacions:

- Una classe espectral correspon a una categoria de CUS: aquesta és la situació ideal però no sempre es dona.

- Diverses classes espectrals corresponen a una categoria de CUS o es el que és el mateix una categoria CUS està formada per diverses classes espectrals. Aquesta situació no comporta problemes si s'empren tècniques adequades ja que normalment tenim més classes espectrals que categories de CUS.
- Una classe espectral correspon a més d'una categoria de CUS: per exemple la resposta del sòl nu pot ser assignada tant a un camp recentment dallat com a sòl improductiu. Aquesta és la situació més problemàtica i pot ser causada perquè la categoria de la CUS és indistingible o perquè les classes espectrals no són prou nombroses per detectar-la.

Per tot plegat es va considerar per solucionar els problemes anteriorment esmentats desenvolupar un classificador híbrid a través de les àrees d'entrenament i de la classificació no supervisada per a cada període analitzat. Aquest classificador combina dos mòduls del programa MiraMon: l'ISODATA, o la classificació no supervisada, i el CLSMIX, que assigna les classes espectrals a les categories mitjançant les àrees d'entrenament. Com que el mòdul ISODATA permet seleccionar un gran nombre de *clusters*, la darrera situació exposada anteriorment es soluciona en molts casos. Per als 1970s, amb MSS aparegueren 97 grups, per als 1990 amb MSS 115 grups, per als principis dels 1990 amb TM 64 grups i per als mitjans dels 1990 amb TM 103 grups (vegeu les imatges *Iso93* i *Iso97* en el CD). Les classes espectrals es varen obtenir dels primers quatre (si eren de MSS) o sis (si eren de TM) components principals.

Un cop obtingudes les classes espectrals s'aplicà el mòdul CLSMIX, que requereix els següents paràmetres:

- La imatge resultant de la classificació no supervisada
- Les àrees d'entrenament.
- El percentatge llindar per acceptar una classe espectral com a part d'una CUS, o sigui, la proporció de la classe espectral que està dins de cada CUS.
- La proporció de cada CUS formada per una classe espectral.

Així, doncs, s'establí una classificació automàtica tenint en compte la correspondència espacial:

- La classe espectral és dins l'àrea d'entrenament.
- La classe espectral és principalment dins la CUS: un important percentatge pertany a la categoria.
- La classe espectral no representa una part insignificant de la categoria.

Contràriament, un píxel esdevé no classificat si no hi ha cap àrea d'entrenament que cobreixi altres píxels de la mateixa classe espectral o si cap classe espectral és adequada, o sigui, el píxel pertany a una classe que està massa dividida en categories de CUS o pertany a una classe que és massa poc representativa de l'àrea total de qualsevol categoria de CUS (la classe espectral és soroll).

La proporció inicial de la classe temàtica dins l'espectral van ser del 30% mentre que la proporció de la classe espectral dins de la temàtica va ser molt baixa, de l'1%. Aquests llindars varen ser establerts empíricament gràcies a la rapidesa del mòdul, ja que només realitzava comparacions, iterant-se diverses vegades fins aconseguir classificar tota l'àrea d'estudi.

Els llindars finals d'assignació de la classe temàtica dins de l'espectral va ser per al 1977 amb MSS del 38%, per al 1993 amb MSS del 32%, per al 1991 amb TM del 34.5% i per al 1997 amb TM del 40%.

A través de la taula 4.5 es pot observar un exemple d'assignació corresponent a deu classes espectrals de principis de 1990 amb MSS: en negreta (en %) es mostra a quina categoria s'ha assignat la classe espectral d'acord amb el primer llindar i, posteriorment, es mostra un exemple relacionat amb el segon llindar, que era de l'1%: en concret, la freqüència relativa de les classes espectrals respecte als fruiters (taula 4.6).

Categories CUS 1990s	Classes espectrals de MSS 1990s										
	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Blat de moro	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7
Resta herb. regadiu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7
Resta herb. secà	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fruiters	7.7	0.0	2.6	0.0	2.0	0.0	1.1	19.4	0.0	2.2	39.5
Oliveres	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vinyes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Matolls	7.7	95.8	0.0	8.3	70.0	73.3	11.7	6.4	80.0	1.1	27.9
Caducifolis	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	0.0
Esclerofil·les	84.6	0.0	97.4	91.7	28.0	23.3	87.2	74.2	0.0	86.8	15.4
Prats i pastures	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sup. urbana	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sòl improductiu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rius i llacunes	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	3.8
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Font: elaboració pròpia.

Classes espectrals	Freqüència relativa
35	0.9
37	0.9
39	0.9
41	0.9
42	5.9
44	2.5
45	9.9
47	0.9
49	0.9
51	30.7
53	5.9
57	18.8
59	0.9
60	10.9
61	0.9
63	4.9
67	2.4
68	0.9
Total fruiters	100

Font: Elaboració pròpia

4.3.7 Solucions de les classes problemàtiques

Malgrat que s'aconseguí classificar totes les imatges, es varen presentar diversos problemes: un va ser l'aparició de zones classificades com a urbanes on hi havia, amb tota seguretat, conreus; en concret es copsà una elevada confusió entre les zones urbanes i diversos *clusters* que s'assignaven al secà. La possible causa de la confusió era la resposta similar de les zones urbanes (possiblement les teulades de les cases) amb parcel·les no conreades, només llaurades (que anteriorment eren cereals d'hivern, on la resposta radiomètrica es deu al sòl nu).

La solució va ser digitalitzar, a partir dels ortofotomapes i de les fotos infraroig, les àrees urbanes dels 1990 per, posteriorment, emmascarar-les i sumar-les a la imatge classificada final, reclassificant la resta dels *clusters* problemàtics com a secà. Per al 1977 s'escolliren els *clusters* que inicialment pertanyien a les àrees urbanes i es multiplicaren per les àrees urbanes digitalitzades amb els ortofotomapes de 1993, obtenint-se els píxels comuns, classificant-los com a urbà i assignant la resta al secà.

Un altre problema es donà amb les oliveres; per la seva disposició distant unes de les altres, es confonien amb altres conreus, no obtenint-se una classe definida. Amb les oliveres es va fer el mateix que en el cas anterior, digitalitzar-les amb els ortofotomapes (per al 1993) i amb les fotos aèries (per al 1977), emmascarar-les i sumar-les a les imatges classificades per a ambdós períodes.

Un tercer problema fou l'arròs: com que es conrea en sòls inundats es confonia amb la zona dels aiguamolls. Per solucionar-ho s'optà per fer una màscara de les zones que eren aiguamolls i, posteriorment, s'aplicà un programa que assignava als píxels emmascarats el valor de la classe veïna, a través de la moda.

La zona dels aiguamolls presentà altres problemes; inicialment s'intentà discriminar les maresmes (joncs, etc.) com una classe a part però no fou possible ja que la confusió amb els prats i pastures era molt elevada, sens dubte pel tipus de vegetació que suporten i per l'existència d'aigua; per tant s'incloueren dins la classe de prats i pastures.

El darrer problema de l'àrea dels aiguamolls fou que sorgien algunes zones (amb joncs,...) com a superfície forestal a causa de la resposta molt similar amb els matollars (garriga,...) que s'inclouïen dins d'aquesta classe; la solució adoptada fou la mateixa que per al cas de l'arròs.

Finalment, s'aplicà un filtre de moda per eliminar aquells píxels individuals situats entre taques més o menys homogènies i que dificulten l'anàlisi; aquest és l'efecte sal i pebre (*salt and pepper*, en anglès; vegeu Chuvieco, 1996).

4.3.8 Tests

Seguidament es realitzà el test dels quatre mapes finals a través d'àrees d'entrenament noves (independents), considerades com a veritat terreny; amb elles i amb les imatges classificades s'obtingueren les matrius de confusió (taules de la 4.7 a la 4.10). En el cas de 1977 i de 1993 tenim una matriu quadrada de 13 classes veritat terreny (columnes) i de 13 classificades (files), mentre que per al 1991 i 1997 és de 15 per 15 (les mateixes més l'arròs i el gira-sol). La diagonal expressa el nombre de píxels on es produeix acord entre el mapa classificat i la "realitat", mentre que els marginals suposen errors d'assignació; els errors de comissió són els residuals de les files i els d'omissió els de les columnes. Matemàticament, els errors d'omissió ψ_c (o l'exactitud del productor si a 1 li restem el resultat) corresponen a:

$$y_c = \frac{I_{cc}}{I_{c+}}$$

on, λ_{cc} és el nombre de píxels de la classe c que han estat correctament classificats i λ_{c+} és el nombre total de píxels classificats com a classe c , mentre que els errors de comissió ϕ_c (o l'exactitud de l'usuari si a 1 li restem el resultat) corresponen a:

CUS 1977	Blat de moro	Resta regadiu	Resta secà	Fruiters	Oliveres	Vinyes	Matolls	Caducifolis	Esclerofil·les	Prats	Improductiu	Urbà	Rius	Total	Error comissió	Exactitud usuari
Blat de moro	32	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	8.6	91.4
Resta herb. regadiu	17	19	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	48.6	51.4
Resta herb. secà	0	0	20	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	23	13.0	87.0
Fruiters	0	0	0	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	0.0	100.0
Oliveres	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0.0	100.0
Vinyes	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	42	0.0	100.0
Matolls	0	0	0	0	0	0	64	0	0	0	0	0	0	64	0.0	100.0
Caducifolis	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0	0	0	0	62	0.0	100.0
Esclerofil·les	0	0	0	0	0	0	0	0	76	0	0	0	0	76	0.0	100.0
Prats i pastures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	50	0.0	100.0
Sòl improductiu	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	34	2.9	97.1
Sup. urbana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	45	0.0	100.0
Rius i llacunes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	0.0	100.0
Total	49	22	21	87	21	44	64	62	76	50	33	45	11	585		
Error d'omissió	34.7	13.6	4.8	2.3	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
Exactitud productor	65.3	86.4	95.2	97.7	100.0	95.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0			

CUS 1993	Blat de moro	Resta regadiu	Resta secà	Fruiters	Oliveres	Vinyes	Matolls	Caducifolis	Esclerofil·les	Prats	Improductiu	Urbà	Rius	Total	Error comissió	Exactitud usuari
Blat de moro	23	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	100.0	0.0
Resta herb. regadiu	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0.0	100.0
Resta herb. secà	0	4	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	6.9	93.1
Fruiters	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20	5.0	95.0
Oliveres	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0.0	100.0
Vinyes	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	24	0.0	100.0
Matolls	0	0	0	0	0	0	46	0	27	0	0	0	1	74	37.8	62.2
Caducifolis	0	0	0	0	0	0	0	84	0	0	0	0	0	84	0.0	100.0
Esclerofil·les	0	0	0	0	0	0	0	0	118	0	0	0	0	118	0.0	100.0
Prats i pastures	0	1	0	0	0	3	0	0	0	49	0	0	0	53	7.5	92.5
Sòl improductiu	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	15	20.0	80.0
Sup. urbana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	44	0.0	100.0
Rius i llacunes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	0.0	100.0
Total	23	28	57	20	28	27	46	84	145	49	13	44	14	578		
Error d'omissió	100.0	32.1	5.3	5.0	0.0	11.1	0.0	0.0	18.6	0.0	7.7	0.0	14.3			
Exactitud productor	0.0	67.9	94.7	95.0	100.0	88.9	100.0	100.0	81.4	100.0	92.3	100.0	85.7			

Capítol 4: Teledetecció i canvis d'usos del sòl 1977-1993 i 1991-1997

Taula 4.9: Matriu de confusions CUS 1991 TM

CUS 1991	Arròs	Gira-sol	Blat de moro	Resta regadiu	Resta seca	Fruiters	Oliveres	Vinyes	Matolls	Caducifolis	Esclerofil-les	Prats	Urbà	Improductiu	Rius	Total	Error comissió	Exactitud usuari
Arròs	183	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	183	0.0	100.0
Gira-sol	0	69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0.0	100.0
Blat de moro	0	11	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103	10.7	89.3
Resta regadiu	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0.0	100.0
Resta seca	0	0	0	0	311	0	0	0	34	0	0	0	0	0	2	347	10.4	89.6
Fruiters	0	0	0	0	0	132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132	0.0	100.0
Oliveres	0	0	0	0	0	0	129	0	0	0	0	0	0	0	0	129	0.0	100.0
Vinyes	0	0	0	0	0	0	0	124	0	0	0	0	0	0	0	124	0.0	100.0
Matolls	0	0	0	0	0	2	0	0	220	0	95	6	0	0	0	323	31.9	68.1
Caducifolis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	447	0	0	0	0	0	447	0.0	100.0
Esclerofil-les	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240	0	0	0	0	240	0.0	100.0
Prats	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	394	0	0	27	424	7.1	92.9
Urbà	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	317	0	0	317	0.0	100.0
Improductiu	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	153	0	166	7.8	92.2
Rius i llacunes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113	113	0.0	100.0
Total	183	80	92	25	324	134	129	124	257	447	335	400	317	153	142	3142		
Error d'omissió	0.0	13.8	0.0	0.0	4.0	1.5	0.0	0.0	14.4	0.0	28.4	1.5	0.0	0.0	20.4			
Exactitud productor	100.0	86.3	100.0	100.0	96.0	98.5	100.0	100.0	85.6	100.0	71.6	98.5	100.0	100.0	79.6			

Taula 4.10: Matriu de confusions CUS 1997 TM

CUS 1997	Arròs	Gira-sol	Blat de moro	Resta regadiu	Resta seca	Fruiters	Oliveres	Vinyes	Matolls	Caducifolis	Esclerofil-les	Prats	Urbà	Improductiu	Rius	Total	Error comissió	Exactitud usuari
Arròs	219	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	219	0.0	100.0
Gira-sol	0	41	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	10.9	89.1
Blat de moro	0	0	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	0.0	100.0
Resta regadiu	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0.0	100.0
Resta seca	0	0	0	0	368	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	398	7.5	92.5
Fruiters	0	0	1	0	0	377	0	0	0	0	0	0	0	0	0	378	0.3	99.7
Oliveres	0	0	0	0	0	0	113	0	0	0	0	0	0	0	0	113	0.0	100.0
Vinyes	0	0	0	0	0	0	0	201	0	0	0	0	0	0	0	201	0.0	100.0
Matolls	0	0	0	0	46	0	0	25	405	0	183	35	0	0	0	694	41.6	58.4
Caducifolis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	664	2	0	0	0	0	666	0.3	99.7
Esclerofil-les	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	670	0	0	0	0	689	2.8	97.2
Prats	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	233	0	0	0	236	1.3	98.7
Urbà	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160	0	0	160	0.0	100.0
Improductiu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	147	0	147	0.0	100.0
Rius i llacunes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106	106	0.0	100.0
Total	219	41	78	28	419	377	113	256	408	683	855	268	160	147	106	4158		
Error d'omissió	0.0	0.0	1.3	0.0	12.2	0.0	0.0	21.5	0.7	2.8	21.6	13.1	0.0	0.0	0.0			
Exactitud productor	100.0	100.0	98.7	100.0	87.8	100.0	100.0	78.5	99.3	97.2	78.4	86.9	100.0	100.0	100.0			

$$j_c = \frac{I_{cc}}{I_{c+}}$$

La relació entre el nombre de píxels correctament classificats i el total de les àrees d'entrenament expressa la fiabilitat global del mapa. En el cas de 1977 els píxels correctament assignats foren 560 de 585, sent l'encert global del 95.7%; en el cas de 1993 els píxels correctament classificats foren 509 de 578, o el 88% d'encert global. El 1977 les classes que presentaven més confusió entre elles eren el blat de moro i el regadiu; per la seva banda el 1993 la confusió més important es donà entre les esclerofil·les i els matolls.

Pel 1991 es classificaren bé 2 949 píxels de 3 142, produint-se la confusió més important entre els esclerofil·les i els matolls; l'encert global va ser del 93.8%. Per la seva banda, el 1997 es varen obtenir 3 809 píxels ben classificats de 4 158, representant un encert global del 91.6%; la major confusió es produí també entre els esclerofil·les i els matolls.

Els mapes impresos tenen les següents característiques cartogràfiques: projecció UTM, pertanyen al fus 31-N, escala 1:120 000. Les llegendes segueixen els següents criteris: en verd els conreus que incloïen total o parcialment regadiu (arròs dels 90s, blat de moro, resta herbacis de regadiu i fruiters), en groc el gira-sol (només present el 1991 i 1997), en lila el secà, en vermell les oliveres (per distingir-les d'altres usos ja que la seva ocupació es veu molt reduïda), en blavós les vinyes, els matolls en marró, en verdós els esclerofil·les i en carbassa els caducifolis, en blau clar els prats i pastures (amb la intenció de donar idea d'humitat), el sòl improductiu amb groc més clar (per donar la idea de manca total de vegetació), la superfície urbana en rosa i els rius i estanys en blau intens.

4.4 Resultats

4.4.1 Localització usos del sòl de 1977

4.4.1.1 Comparació resultats amb les dades censals del Ministerio de Agricultura de 1977

La comparació dels resultats obtinguts amb teledetecció (hectàrees d'ocupació de cada ús del sòl) amb les dades censals es va realitzar amb l'objectiu de reconfirmar la bondat de les classificacions, ja que un dels problemes dels tests és que només fan referència als punts de control i, per tant, poden ser força esbiaixats.

Les dades censals corresponents a 1977 provenen del qüestionari “Superfícies ocupadas por los cultivos agrícolas” de la Secretaría Técnica del Ministerio de Agricultura formalitzat aleshores per les cambres agràries locals i provincials (Tulla *et al.*, 1983). Per als 1990 la font ha estat la mateixa però formalitzat pel Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (DARP).

Per comparar els resultats d'ambdues fonts es varen ajuntar els diferents usos en una mateixa classificació. Aquest fet va implicar tota una sèrie de problemes relacionats amb el fet que les imatges de satèl·lit capten la resposta espectral de les cobertes i no dels usos; alguns exemples serien:

- Els rius i llacunes captats per les imatges corresponen a zones amb aigua mentre que a les estadístiques s'inclouen els llits dels rius encara que estiguin secs; aquest fet implica una possible subestimació de la superfície en les imatges.
- El sòl improductiu inclou el campament militar de Sant Climent, indistingible en les imatges, per tant es subestimarà.
- En la superfície forestal de les estadístiques no es diferencien espècies i per tant s'agruparà en una classe.
- Els conreus llenyosos inclouen, en les estadístiques, l'ocupació dels arbres que encara no produeixen, fet que pot comportar que no siguin discriminables en les imatges i per tant estiguin subestimats.
- En general la superfície urbana sembla estar sobreestimada en les dades censals; aquest fet és molt clar en l'increment de 1991 a 1997, com veurem.

En primer lloc, cal esmentar que s'han considerat les estadístiques del Ministerio de Agricultura i del DARP com a totalment verídiques quan molt possiblement contenen errors ¹. Malgrat aquesta constatació no hi havia una font alternativa per contrastar les dades i, per tant, es va considerar que les diferències eren atribuïbles a errors en la classificació.

En la taula 4.11 s'observa que els rius i llacs estan subestimats en un 85.7% malgrat que en hectàrees de diferència només siguin 291.4; el sòl improductiu és el segon que presenta una diferència més elevada, estant subestimat en 2 277.8 ha (72.5% respecte el cens). Tal com s'ha esmentat anteriorment és un problema insoluble. Altres subestimacions importants es produeixen en les vinyes, 1 137.6 ha, i en la superfície urbana, 883 ha. Les sobreestimacions més importants es donen en els altres herbacis, 3284.6 ha, la superfície forestal, 2 003.2 ha, i els prats i pastures,

¹ Per exemple es detectà un error molt clar en la superfície urbana de 1991 o de 1997, ja que entre ambdós anys incrementava la seva superfície 1500 ha segons el DARP, fet clarament improbable. Un altre error important és que en les dades censals no es considerava tota la superfície de Mollet de Peralada, només el corresponent a la seva capital, deixant de banda el nucli de Les Costes.

1 133.8 ha., possiblement per la confusió espectral amb altres usos (per exemple el blat de moro o els fruiters estan subestimats). D'altra banda s'ha sobreestimat, també, la resta de conreus herbacis de regadiu (26.7%) possiblement per la subestimació en les dades censals de la seva ocupació, per motius fiscals.

La diferència total de l'àrea d'estudi és de 475.3 ha, atribuïble als diferents mètodes de planimetria i a les Costes, el nucli de població pertanyent a Mollet de Peralada que es troba separat de la capital i que no estava comptabilitzat (veure mapa 3.1 del capítol tercer).

L'encert global de la comparació dels usos del sòl s'ha establert a partir de la següent fórmula:

$$\frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{S}$$

on X_i és l'estimació en hectàrees segons el mapa, Y_i és l'estimació en hectàrees segons les estadístiques del Ministerio de Agricultura i S és el nombre total d'hectàrees de l'àrea d'estudi segons el Ministerio de Agricultura.

El resultat donà un 70.6% d'encert per al 1977.

CUS 1977	Mapa 1977		Cens 1977		Difmapcens	
	ha	%	ha	%	ha	%*
Blat de moro	950.4	2.2	1483.0	3.4	-532.6	-35.9
Resta herb. regadiu	2521.1	5.8	2995.0	7.0	-473.9	-15.8
Resta herb. secà	11626.6	26.7	8342.0	19.4	3284.6	39.4
Fruiters	352.8	0.8	870.0	2.0	-517.2	-59.4
Vinyes	2682.4	6.2	3820.0	8.9	-1137.6	-29.8
Oliveres	1888.2	4.3	1735.0	4.0	153.2	8.8
Sup. forestal	17421.2	40.0	15418.0	35.8	2003.2	13.0
Prats i pastures	4489.2	10.3	3341.0	7.8	1148.2	34.4
Sup. urbana	669.6	1.5	1553.0	3.6	-883.4	-56.9
Sòl improductiu	862.2	2.0	3140.0	7.3	-2277.8	-72.5
Rius i llacunes	48.6	0.1	340.0	0.8	-291.4	-85.7
Total	43512.3	100.0	43037.0	100.0	475.3	1.1

* % respecte el Cens de 1977.

4.4.1.2 Mapa dels usos del sòl de 1977

Segons el mapa d'usos del sòl de 1977 (Mapa Annex 1), el blat de moro i la resta d'herbacis de regadiu estaven localitzats dispersament per la Plana, mentre que la resta d'herbacis de secà ocupava la major part de la zona. Els fruiters estaven localitzats als municipis de Fortià, Castelló i Sant Pere. Les oliveres estaven localitzades al nord de Peralada i Cabanes, al

peu de la serra de Pau i de la serra de Rodes i als sectors més planers d'Espolla, Sant Climent, Cantallops, Capmany i Agullana. Les vinyes, tanmateix, tenien una localització similar: nord de Peralada, peu de les serres de Pau i Rodes, zona més planera d'Espolla, Mollet, est de Masarac, i centre de Cantallops.

Els matolls es localitzaven a la zona situada entre Peralada i Pedret (Puig de la Mala Veïna), la part nord de Garriguella, Vilajuïga, Pau i Palau, el Montpedrós, la serra d'Altrera i la serra de Can Felicó a Masarac, la serra de Comunera entre la Jonquera i Capmany i la serra de les Garrigues a Sant Climent. Els caducifolis estaven localitzats molt clarament al nord-oest d'Agullana i nord de la Jonquera (Puig Neulós) i d'Espolla, mentre que les esclerofil·les estaven localitzades en la franja situada entre Agullana i Espolla.

Els prats i pastures es localitzaven als aiguamolls tant de Castelló com de Palau i entre Capmany i Agullana. La superfície urbana estava dominada per la gran urbanització d'Empúriabrava i pels petits nuclis urbans de les capitals municipals. El sòl improductiu estava localitzat en la platja litoral i dispers al voltant dels nuclis urbans i dels conreus. Dels rius i llacunes ressalta la desembocadura del Fluvià i de la Muga i alguna llacuna dels aiguamolls.

4.4.2 Localització dels usos del sòl de 1993.

4.4.2.1 Comparació dels resultats amb les dades censals del DARP de 1993.

A través de la taula 4.12 s'observa que les subestimacions més importants es donen en el sòl improductiu, 3 097.5 ha o el 87.5%, en els rius i llacunes (74% respecte les hectàrees del cens), per les raons esmentades anteriorment, les vinyes i les oliveres al voltant del 50%. Les sobreestimacions més importants es produeixen amb els prats i pastures i amb la resta d'herbacis de secà .

El resultat final dona un encert del 59.1% .

4.4.2.2 Mapa dels usos del sòl de 1993

A través del mapa dels usos del sòl de 1993 (mapa Annex 2) observem que el blat de moro i la resta d'herbacis de regadiu es concentraven, a grans trets, al voltant de la Mugueta, a la riera d'Anyet (entre Peralada i Cabanes), al sud del rec del Molí i a la zona est del rec Sirvent

Taula 4.12: Comparació resultats amb dades censals DARP 1993

CUS 1993	Mapa 1993		Cens 1993		Difmapcens	Difmapcens
	ha	%	ha	%	ha	%*
Blat de moro	3061.1	7.0	3642.0	8.5	-580.9	-16.0
Resta herb. regadiu	2323.4	5.3	2239.0	5.2	84.4	3.8
Resta herb. secà	11080.4	25.5	6727.0	15.6	4353.4	64.7
Fruiters	859.3	2.0	1532.0	3.6	-672.7	-43.9
Vinyes	1383.8	3.2	3085.0	7.2	-1701.2	-55.1
Oliveres	457.2	1.1	971.0	2.3	-513.8	-52.9
Sup. forestal	18787.7	43.2	15724.0	36.5	3063.7	19.5
Prats i pastures	3658.0	8.4	2078.0	4.8	1580.0	76.0
Sup. urbana	1333.8	3.1	2935.0	6.8	-1601.2	-54.6
Sòl improductiu	443.5	1.0	3541.0	8.2	-3097.5	-87.5
Rius i llacunes	123.8	0.3	477.0	1.1	-353.2	-74.0
Total	43512.0	100.0	42951.0	99.8	561.0	1.3

* % respecte Cens 1993

(a Vilamacolum). La resta d'herbacis de secà es concentrava en grans taques al voltant de la zona d'unió entre Peralada i Pedret, al sud de Vilajuïga, Pau i Palau, zona central de Castelló i sud-oest de Riumors i Fortià. Els fruiters apareixien en el transcurs del Riu Vell (Sant Pere), entre el Fluvià i el rec Sirvent (a Sant Pere), al nord-oest de Fortià i al marge esquerre de la Muga (al seu pas per Cabanes). Per la seva banda, les oliveres apareixien en les zones esmentades el 1977 però amb un grau d'ocupació menor, el mateix que succeïa amb les vinyes.

Els matolls seguien apareixent a les zones esmentades anteriorment més un increment en la zona central d'Espolla però una davallada molt significativa en la serra de Comunera, fruit de la recuperació forestal després dels incendis dels 1970 (com veurem detalladament al proper capítol). Aquesta darrera zona s'ha convertit en esclerofil·les, que romanien a les zones esmentades el 1977, mentre que els caducifolis s'expandien una mica.

Els prats i pastures tenien una clara menor incidència en la zona dels aiguamolls (zona parc). La superfície urbana apareixia amb taques més compactes a les zones esmentades als 1970, més una major ocupació al litoral de Sant Pere (càmpings) junt a la construcció del camp de golf de Peralada El sòl improductiu apareixia clarament a la zona costanera, mentre que els rius i estanys seguien diferenciant-se a Castelló i a la desembocadura del Fluvià i de la Muga.

4. 4.3 Localització dels canvis d'usos del sòl 1977-1993

4.4.3.1 Comparació dels resultats amb les dades censals

A través de la taula 4.13 s'observa la comparació dels resultats amb les estadístiques pel que fa a l'evolució dels usos del sòl entre 1977 i 1993 amb imatges MSS. Per ambdues fonts copsem l'evolució negativa de la resta d'herbacis de regadiu i de secà, de les vinyes, de les oliveres, i dels prats i pastures. Mentre que l'evolució positiva es constata igualment per ambdues fonts en el blat de moro, els fruiters, la superfície forestal, la superfície urbana i els rius i llacunes. L'evolució discordant es dona en el sòl improductiu per les raons abans esmentades.

CUS 1977 i 1993	Mapa 1977	Mapa 1993	Difmap9377	Cens 1977	Cens 1993	Difcens9377
	ha	ha	ha	ha	ha	ha
Blat de moro	950.4	3061.1	2110.7	1483.0	3642.0	2159.0
Resta herb. regadiu	2521.1	2323.4	-197.7	2995.0	2239.0	-756.0
Resta herb. secà	11626.6	11080.4	-546.2	8342.0	6727.0	-1615.0
Fruiters	352.8	859.3	506.5	870.0	1532.0	662.0
Vinyes	2682.4	457.2	-2225.2	3820.0	3085.0	-735.0
Oliveres	1888.2	1383.8	-504.4	1735.0	971.0	-764.0
Sup. forestal	17421.2	18787.7	1366.5	15418.0	15724.0	306.0
Prats i pastures	4489.2	3658.0	-831.2	3341.0	2078.0	-1263.0
Sup. urbana	669.6	1333.8	664.2	1553.0	2935.0	1382.0
Sòl improductiu	862.2	443.5	-418.7	3140.0	3541.0	401.0
Rius i llacunes	48.6	123.8	75.2	340.0	477.0	137.0
Total	43512.0	43512.0	0.0	43037.0	42951.0	-86.0

Font: Elaboració pròpia

4.4.3.2 Canvis d'usos del sòl

Tal com s'ha comentat en la introducció del present capítol, la sobreposició fiable de les classificacions per a l'obtenció dels canvis en els usos del sòl requereix el següent protocol (Serra *et al.*, 2001):

1. Una exactitud temàtica individual adient, ja que la fiabilitat del mapa de canvis és el resultat de la multiplicació d'ambdues exactituds. En el nostre cas el resultat fou: exactitud de 1977 = 95.7% * exactitud de 1993 = 88% = 84.2%. Per tant, podríem acceptar l'exactitud temàtica del mapa de canvis.

En la matriu de transició (taula 4.14) s'observa els resultats de la sobreposició dels dos mapes sense erosionar. En ella apreciem les principals tendències en l'evolució dels usos del sòl i a través dels respectius mapes la localització:

Capítol 4: Teledetecció i canvis d'usos del sòl 1977-1993 i 1991-1997

Taula 4.14: Matriu de transicions 1977-1993, en ha.

1993 \ 1977	Blat de moro	Resta herb. regadiu	Resta herb. secà	Fruiters	Oliveres	Vinyes	Matolls	Caducifolis	Esclerofil·les	Prats	Sup. urbana	Improductiu	Rius	Total
Blat de moro	200.9	587.2	1517.8	78.1	13.7	38.9	60.1	13.7	19.4	490.3	0.0	41.0	0.0	3061.1
Resta herb. regadiu	131.4	429.5	1134.0	58.0	16.6	27.7	52.6	1.4	4.3	433.8	0.0	34.2	0.0	2323.4
Resta herb. secà	422.6	940.7	5895.7	72.4	448.9	1258.2	846.0	7.2	20.2	798.1	0.0	369.4	1.1	11080.4
Fruiters	56.9	181.4	311.8	94.0	1.1	6.5	34.2	5.0	7.2	152.3	0.0	8.3	0.7	859.3
Vinyes	11.2	19.1	331.6	1.8	13.7	933.8	36.4	0.0	0.7	6.1	0.0	29.5	0.0	1383.8
Oliveres	0.0	1.4	9.0	0.0	426.2	3.6	15.1	0.0	0.4	0.7	0.0	0.7	0.0	457.2
Matolls	26.3	78.8	658.4	18.7	702.7	316.1	4557.6	29.9	1208.5	794.9	3.6	69.1	9.4	8474.0
Caducifolis	4.7	10.1	30.6	2.5	0.7	1.1	5.0	1154.5	659.9	268.2	0.0	0.4	0.0	2137.7
Esclerofil·les	1.4	4.3	34.6	3.2	22.3	4.0	844.9	439.2	6192.0	627.5	0.0	2.5	0.0	8176.0
Prats i pastures	64.8	177.8	1153.8	16.2	207.7	48.2	950.0	25.6	117.7	815.0	0.7	78.8	1.4	3658.0
Sup. urbana	10.4	59.8	384.8	3.6	29.9	11.9	55.1	0.4	4.0	40.0	665.3	63.0	5.8	1333.8
Sòl improductiu	19.1	30.6	148.7	4.0	2.2	32.0	21.2	0.7	9.7	25.2	0.0	148.7	1.4	443.5
Rius i llacunes	0.7	0.4	15.8	0.4	2.5	0.4	19.1	0.4	1.8	37.1	0.0	16.6	28.8	123.8
Total	950.4	2521.1	11626.6	352.8	1888.2	2682.4	7497.4	1678.0	8245.8	4489.2	669.6	862.2	48.6	43512.3

Taula 4.15: Matriu de transicions 1977-1993, en ha, després d'erosionar

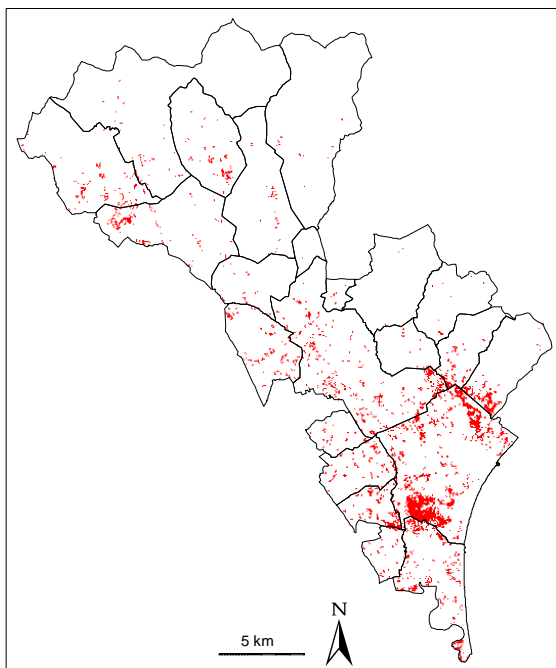
1993 \ 1977	Blat de moro	Resta herb. regadiu	Resta herb. secà	Fruiters	Oliveres	Vinyes	Matolls	Caducifolis	Esclerofil·les	Prats	Sup. urbana	Improductiu	Total
Blat de moro	0.0	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	14.8
Resta herb. regadiu	0.0	0.0	6.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	13.0
Resta herb. secà	5.8	1.4	457.9	0.7	4.0	24.8	4.0	0.0	0.0	21.2	0.0	0.4	520.2
Fruiters	0.0	8.3	3.6	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	25.2
Vinyes	0.0	0.0	0.0	0.0	28.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.4
Oliveres	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	43.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.6
Matolls	0.0	0.0	1.8	0.0	55.1	1.1	1240.6	0.0	115.9	14.8	0.0	0.0	1429.2
Caducifolis	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	365.8	51.5	13.0	0.0	0.0	430.2
Esclerofil·les	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	200.2	11.2	3060.7	13.7	0.0	0.0	3285.7
Prats i pastures	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	66.6	0.0	0.4	72.0
Sup. urbana	0.0	1.4	20.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	200.5	0.0	222.1
Sòl improductiu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	4.7	5.8
Total	5.8	11.2	502.9	14.4	87.5	69.1	1447.2	376.9	3228.1	142.2	200.5	5.4	6091.2

- intensificació agrícola: de prats a conreus herbacis, sobretot als aiguamolls (mapa 4.1),
 - intensificació herbacis de regadiu (blat de moro i resta regadiu): en detriment de la resta d'herbacis de secà, bàsicament a la Plana (mapa 4.2),
 - abandonament i/o transformació de les oliveres i vinyes, sobretot als Aspres, convertides en resta herbacis de secà o matolls (mapa 4.3, 4.4 i 4.5),
 - regeneració de la vegetació després dels incendis forestals: de matolls a esclerofil·les sobretot a la serra de Comunera (mapa 4.6a); no regeneració dels incendis forestals als Aspres (mapa 4.6b) i al campament militar de Sant Climent,
 - incendis forestals: d'esclerofil·les a matolls, sobretot al centre d'Espolla i nord de Sant Climent (mapa 4.7),
 - increment fruiters en detriment dels herbacis a Sant Pere Pescador (mapa 4.8),
 - increment de la urbanització sobretot en detriment de la resta d'herbacis de secà, a Empúriabrava, al camp de golf de Peralada i als càmpings costaners (mapa 4.9),
 - abandonament de prats i pastures: transformació a superfície forestal (o matolls, o esclerofil·les o caducifolis), sobretot a la zona de muntanya (mapa 4.10).
2. Un segon aspecte és l'error planimètric d'ambdues fonts. Tal com s'ha esmentat en l'apartat de correccions geomètriques, les imatges originals i, per tant, les classificacions finals tenen un desplaçament geomètric. A causa d'aquest desplaçament a l'hora de sobreposar una malla sobre l'altra podem estar comparant píxels localitzats inexactament i, conseqüentment, podem arribar a resultats ficticis. Dit en altres paraules podem obtenir canvis en les CUS negatius falsos (quan no identifiquem els canvis) o canvis positius falsos (quan identifiquem canvis erròniament) i, per tant, quantificacions de les hectàrees de canvi errònies.

Així, doncs, tal com s'ha esmentat anteriorment quan dues classificacions són sobreposades l'àrea al voltant de la frontera dels polígons no és fiable a causa de l'error planimètric d'ambdues fonts. Per solucionar aquesta problemàtica es poden eliminar les zones d'incertesa al voltant de tots els polígons. Aquesta operació, denominada erosió, té el desavantatge que es perden hectàrees d'ocupació i, per tant, informació però la que resta la combinem amb fiabilitat.

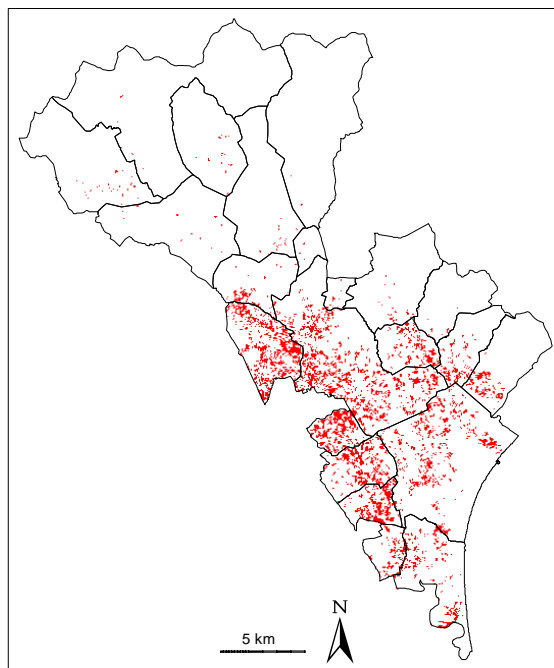
Per aplicar l'erosió cal definir algun paràmetre que ens indiqui quina àrea erosionarem i aquest serà el RMS obtingut en les correccions geomètriques ja que ens indica la desviació estàndard dels errors (assumint distribucions normals). A més a més haurem de tenir en compte la fragmentació del paisatge ja que l'error planimètric afecta principalment la frontera dels polígons

Intensificació agrícola:
de prats i pastures a conreus herbacis



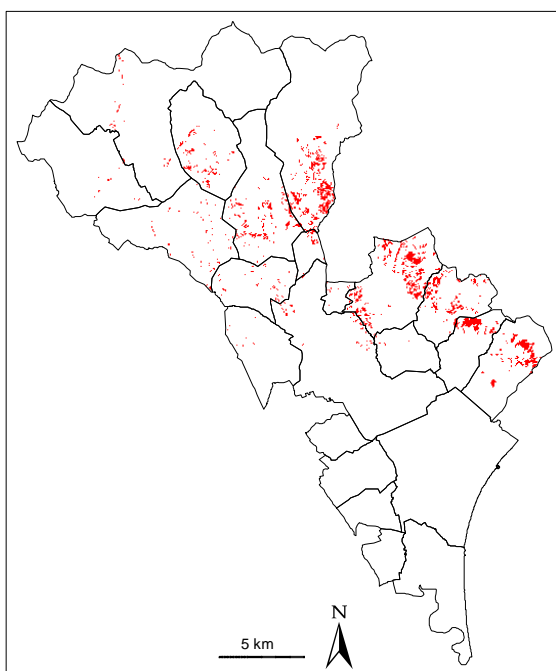
Mapa 4.1

Intensificació herbacis regadiu:
de resta herbacis secà a blat de moro i resta regadiu



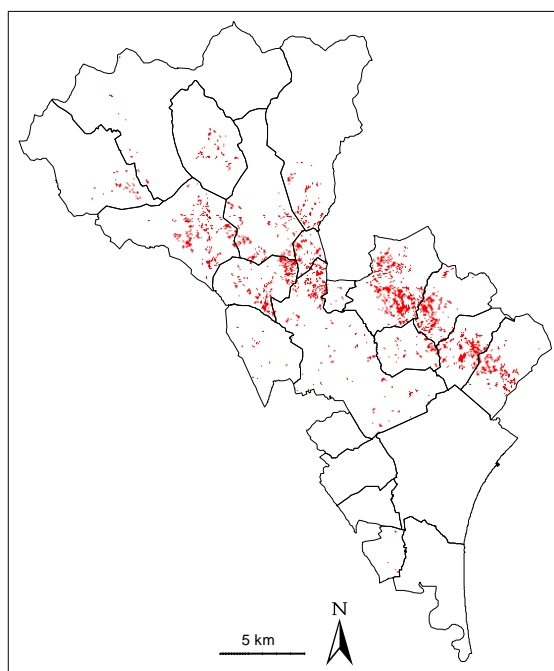
Mapa 4.2

Abandonament de vinyes i oliveres:
convertides a matolls



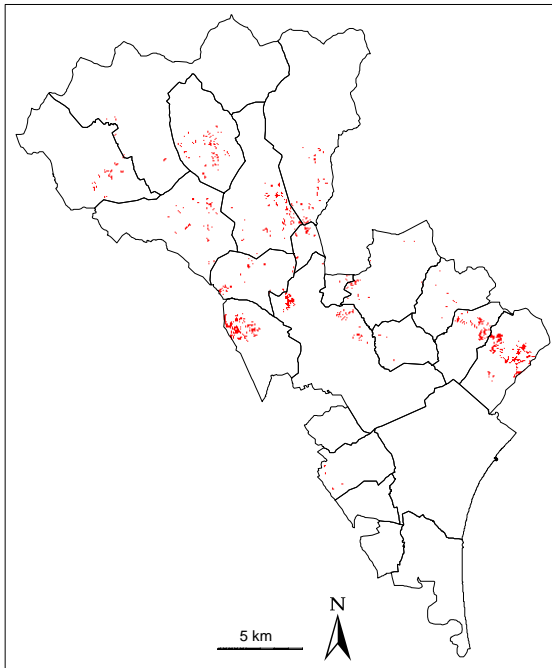
Mapa 4.3

Transformació de vinyes a resta herbacis secà



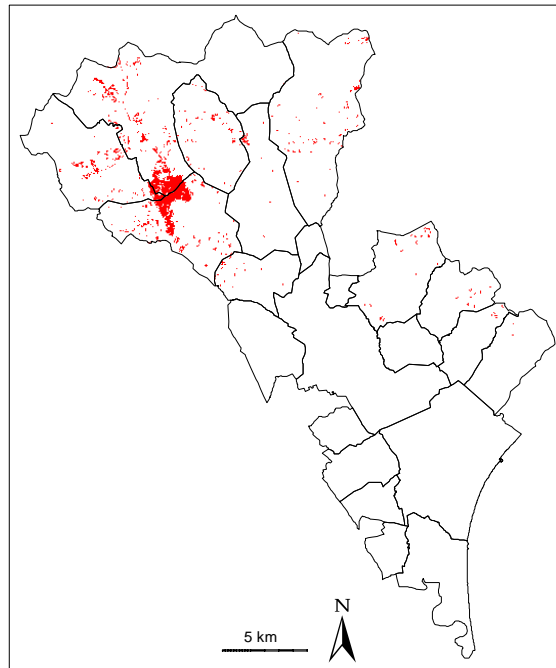
Mapa 4.4

Transformació d'oliveres a resta herbàcia seca



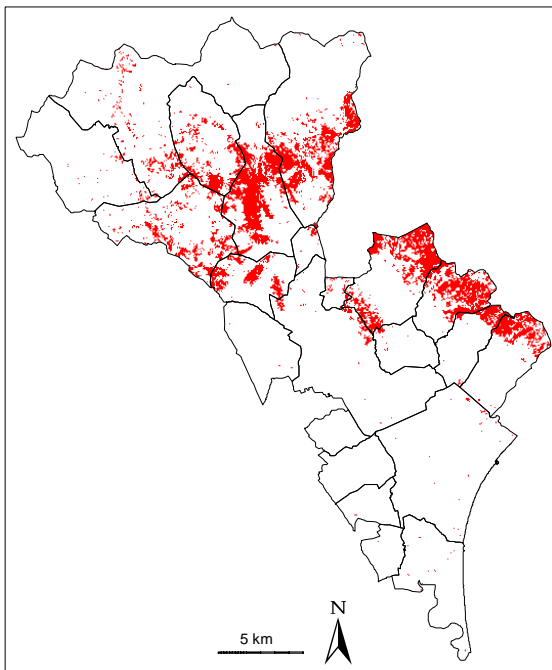
Mapa 4.5

Regeneració forestal dels incendis de 1978: de matolls a escleròfil·les



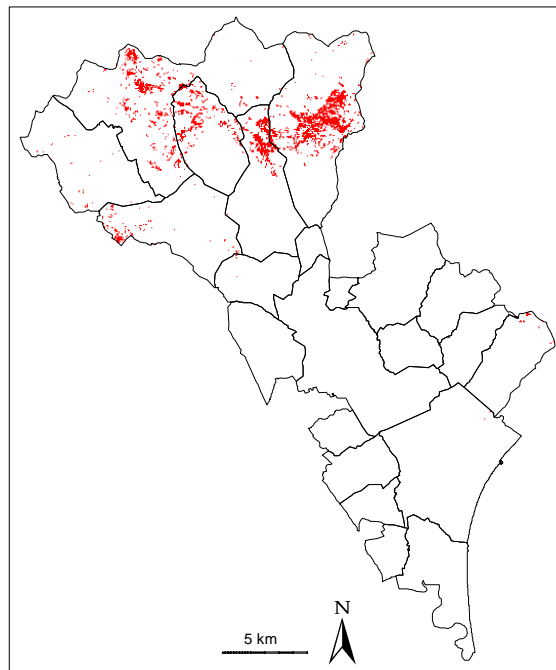
Mapa 4.6a

No regeneració forestal dels incendis: de matolls a matolls



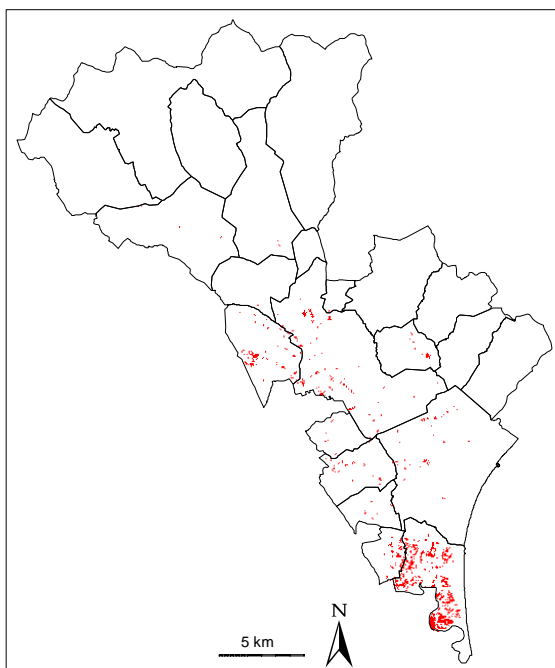
Mapa 4.6b

Incendis forestals de 1986: d'escleròfil·les a matolls



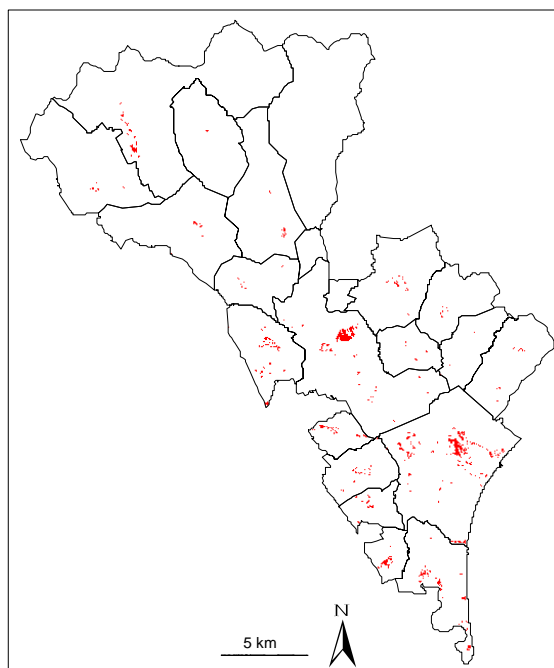
Mapa 4.7

Increment fruiters en detriment de la resta d'herbàcis



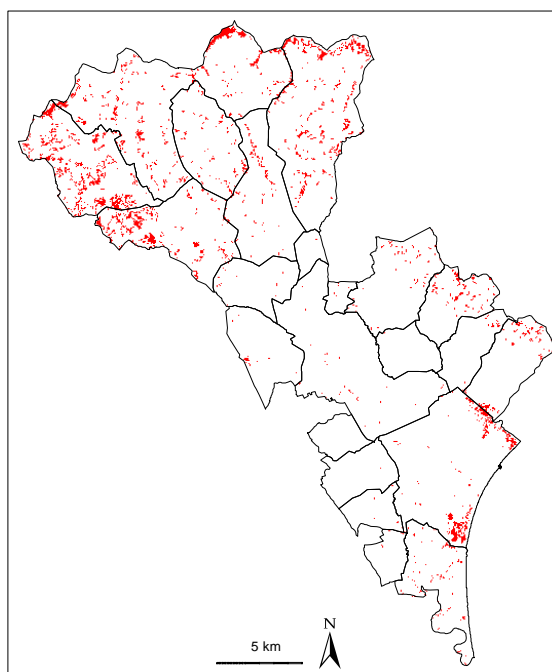
Mapa 4.8

Increment urbanització en detriment de la resta d'herbàcis



Mapa 4.9

Abandonament de prats i pastures: a superfície forestal



Mapa 4.10

i no la seva part interna. Així, paisatges amb taques molt homogènies es veuran menys afectats per l'erosió que els molt fragmentats. Després de realitzar alguns tests de diverses situacions (vegeu Serra *et al.* 2001), es va copsar que l'erosió més adequada era la d'1 píxel al voltant de tots els polígons.

Un cop aplicada l'erosió als dos mapes (mapes 4.11 i 4.12) i sobreposats, a través de la taula 4.15 es pot observar la quantificació de les hectàrees invariants, entre els dos anys, mitjançant la diagonal: 5 481.4 ha (el 89.9% del romanent total de l'àrea d'estudi) no han sofert cap canvi. Com podem observar l'àrea perduda és important (el 86%) però la localització de les 6 091.2 ha restants tenen més d'un 95% de fiabilitat (vegeu Serra *et al.*, 2001).

En la taula 4.15 també es pot observar que els canvis més importants, un cop aplicada l'erosió, seguien sent els descrits anteriorment. Restaria per esmentar, el canvi de blat de moro a resta de secà, que es produïa bàsicament al centre de la Plana; aquest canvi podia ser, realment, el pas de blat de moro a guaret (inclòs en la resta de secà). Altres canvis no mencionats es donaven entre les esclerofil·les i els caducifolis que amb tota probabilitat eren fruit d'errors en la classificació (problemes signatures espectrals, barreja d'ambdues categories en el territori, etc.).

4.4.4 Localització usos del sòl de 1991.

4.4.4.1 Comparació dels resultats amb les dades censals del DARP 1991

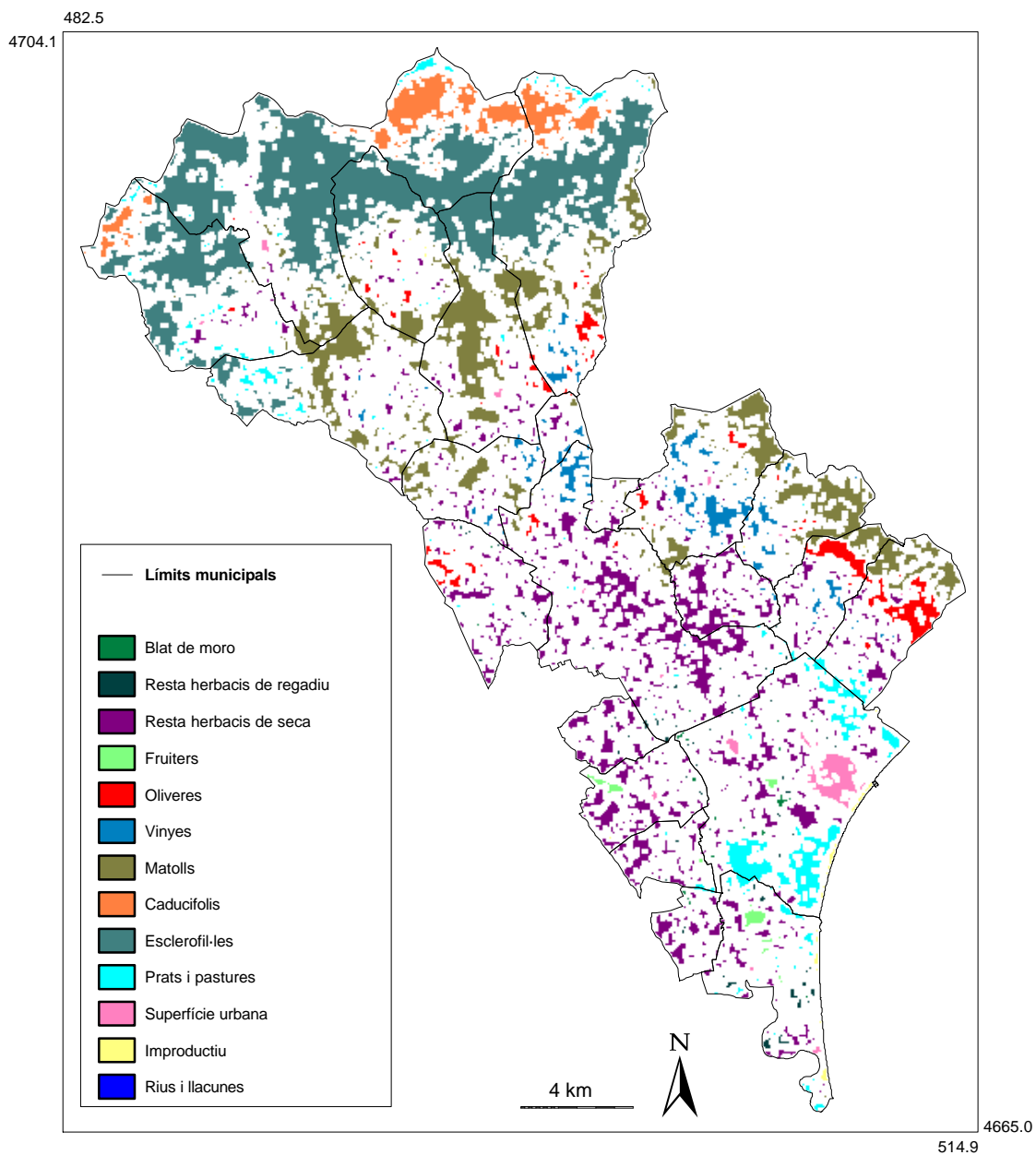
A través de la taula 4.16 s'observa que les subestimacions més importants es donaven en el sòl improductiu amb 2867 ha (81.4% respecte el cens), en els rius i llacunes (-75%) i en la superfície urbana (-59.2%). Les sobreestimacions més importants es donaven en la resta d'herbacis de secà (+61.8%) i en la superfície forestal (+29.1%).

L'encert global va ser del 60.8%.

4.4.4.2 Mapa usos del sòl de 1991

A través del mapa Annex 3 s'observa que l'arròs es localitzava en dues grans parcel·les ubicades entre Castelló i Sant Pere i al sud-est de Riumors. Per la seva banda el gira-sol es localitzava a la part central de la Plana, mentre que el blat de moro i la resta de regadiu

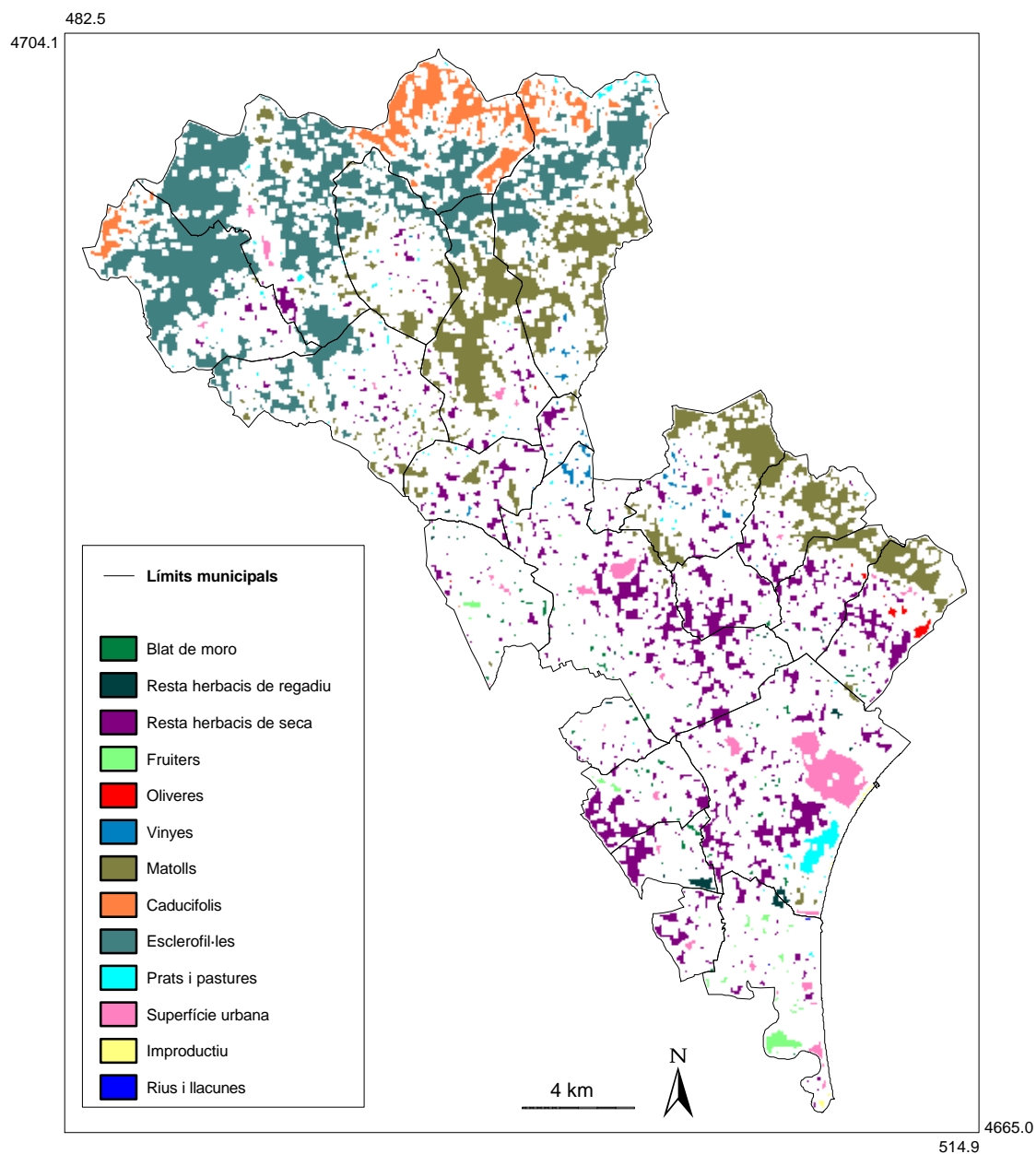
Usos del sòl 1977 erosionats



Mapa 4.11

Font: Elaboració pròpia a partir del mapa Annex 1.

Usos del sòl 1993 erosionats



Mapa 4.12

Font: Elaboració pròpia a partir del mapa Annex 2.

Taula 4.16: Comparació dels resultats amb les dades censals del DARP 1991

CUS 1991	Mapa 1991		Cens 1991		Difmapcens	
	ha	%	ha	%	ha	%
Arròs	93.3	0.2	0	0.0	93.3	0.0
Gira-sol	329.7	0.8	278	0.6	51.7	18.6
Blat de moro	3334.2	7.7	3729	8.7	-394.8	-10.6
Resta herb. regadiu	1932.7	4.4	2351	5.5	-418.3	-17.8
Resta herb. secà	10349.5	23.8	6398	14.9	3951.5	61.8
Fruiters	939.8	2.2	1431	3.3	-491.2	-34.3
Vinyes	1604.1	3.7	3114	7.2	-1509.9	-48.5
Oliveres	532.9	1.2	1002	2.3	-469.1	-46.8
Forestal	20306.8	46.7	15734	36.5	4572.8	29.1
Prats i pastures	2145.7	4.9	2125	4.9	20.7	1.0
Sol improd.	654.8	1.5	3522	8.2	-2867.2	-81.4
Sup. urbana	1178.8	2.7	2889	6.7	-1710.2	-59.2
Rius	119.6	0.3	478	1.1	-358.4	-75.0
Total	43521.9	100.0	43051	100.0	470.9	1.1

Font: Elaboració pròpia.

ocupaven, sobretot, l'eix de la Muga. La resta de secà ocupava tres grans zones, sud de Vilajuïga, Pau i Palau, la zona de contacte entre Peralada i Pedret i entre Riumors i Fortià.

Els fruiters es localitzaven sobretot a Sant Pere, nord-oest de Fortià i Cabanes. Les oliveres es concentraven al sud dels municipis de Garriguella, Vilajuïga, Pau i Palau, oest de Cabanes i entre Espolla i Mollet. Les vinyes també es localitzaven en aquestes àrees a excepció de la zona de Cabanes, Pau i Palau.

D'altra banda, els caducifolis es localitzaven al nord de la Jonquera, d'Espolla i d'Agullana, mentre que els matolls es concentraven a la zona de Sant Climent i serres esmentades en l'apartat 4.2.2. Els esclerofil·les es localitzaven entre Agullana i Capmany fins a Espolla.

Els prats i pastures es concentraven als aiguamolls. El sòl improductiu presentava la seva localització a la zona costanera i al camp de golf de Peralada, en construcció, mentre que la zona urbana s'observava a Empúriabrava, capitals municipals i càmpings costaners de Sant Pere Pescador. Els rius s'observaven a la desembocadura del Fluvià i de la Muga i a les llacunes dels aiguamolls.

4.4.5 Localització usos del sòl de 1997

4.4.5.1 Comparació dels resultats amb les dades censals del DARP 1997

A través de la taula 4.17 s'observa que les subestimacions més importants es donaven en el sòl improductiu (-90.8%), rius i llacunes (-88.7%) i superfície urbana (-70.s%), mentre que les sobreestimacions en el gira-sol (55.8%), superfície urbana (+38.1%) i altres herbacis de secà (+36.6%).

L'encert global va ser del 58.4%.

Taula 4.17: Comparació resultats amb les dades censals DARP 1997.						
CUS 1997	Mapa 1997		Cens 1997		Difmapcens	
	ha	%	ha	%	ha	%
Arròs	186.2	0.4	192	0.4	-5.8	-3.0
Gira-sol	2106.8	4.8	1351	3.1	755.8	55.9
Blat de moro	3091.2	7.1	3203	7.4	-111.8	-3.5
Resta herb. reg.	1356.8	3.1	1093	2.5	263.8	24.1
Resta herb. secà	7708.6	17.7	5641	13.0	2067.6	36.7
Fruiters	817.8	1.9	1267	2.9	-449.2	-35.5
Vinyes	1955.1	4.5	2245	5.2	-289.9	-12.9
Oliveres	535.6	1.2	1015	2.3	-479.4	-47.2
Sup. forestal	21674.8	49.8	15728	36.1	5946.8	37.8
Prats i pastures	2405.5	5.5	3517	8.1	-1111.5	-31.6
Sup. urbana	1303.9	3.0	4369	10.0	-3065.1	-70.2
Sol improd.	277.7	0.6	3025	6.9	-2747.3	-90.8
Rius	101.2	0.2	894	2.1	-792.8	-88.7
Total	43521.2	100.0	43540	100.0	-18.8	0.0

Font: Elaboració pròpia.

4.4.5.2 Mapa usos del sòl de 1997

A través del mapa Annex 4 s'observa que l'arròs es localitzava en dues grans parcel·les, l'esmentada per al 1991, en el municipi de Riumors, i al sud-oest de Castelló. El gira-sol incrementava la seva ocupació en tots els municipis de la Plana i apareixia en els de transició (Sant Climent, Mollet i Masarac), mentre que el blat de moro i la resta de regadiu es localitzaven en les mateixes zones que pel 1991.

Els fruiters es concentraven a Sant Pere, mentre que les oliveres quedaven relegades a petites taques en els municipis anteriorment esmentats, el mateix que les vinyes.

Els matolls, caducifolis i escleròfil·les tenien una localització força semblant a la de 1991.

Els prats i pastures es concentraven als aiguamolls i la zona urbana en les àrees anteriorment esmentades.

4.4.6 Localització dels canvis d'usos del sòl 1991-1997

4.4.6.1 Comparació dels resultats amb les dades censals

A través de la taula 4.18 s'observen els processos coincidents: increment de l'arròs, del gira-sol, de les oliveres, dels prats i pastures i de la superfície urbana, així com el decrement del blat de moro, de la resta d'herbacis de regadiu, de la resta d'herbacis de secà, dels fruiters i del sòl improductiu. Els processos divergents es donaren amb les vinyes, amb tota seguretat pel procés de transformació que es tractarà detalladament en el proper capítol, amb la superfície forestal i amb els rius i estanys.

Taula 4.18: Comparació dels resultats amb les dades censals 1991 i 1997

CUS 1991 i 1997	Mapa1991 ha	Mapa1997 ha	Difmap9791 ha	Cens 1991 ha	Cens 1997 ha	Difcens9791 ha
Arròs	93.3	186.2	92.9	0.0	192.0	192.0
Gira-sol	329.7	2106.8	1777.1	278.0	1351.0	1073.0
Blat de moro	3334.2	3091.2	-243.0	3729.0	3203.0	-526.0
Resta herb. regadiu	1932.7	1356.8	-575.9	2351.0	1093.0	-1258.0
Resta herb. secà	10349.5	7708.6	-2640.9	6398.0	5641.0	-757.0
Fruiters	939.8	817.8	-122.0	1431.0	1267.0	-164.0
Vinyes	1604.1	1955.1	351.0	3114.0	2245.0	-869.0
Oliveres	532.9	535.6	2.7	1002.0	1015.0	13.0
Sup. forestal	20306.8	21674.8	1368.0	15734.0	15728.0	-6.0
Prats i pastures	2145.7	2405.5	259.8	2125.0	3517.0	1392.0
Sup. urbana	1178.8	1303.9	125.1	2889.0	4369.0	1480.0
Improductiu	654.8	277.7	-377.1	3522.0	3025.0	-497.0
Rius i llacunes	119.6	101.2	-18.4	478.0	894.0	416.0
Total	43521.0	43521.0	0.0	43051.0	43540.0	489.0

Font: Elaboració pròpia.

4.4.6.2 Canvis d'usos del sòl

En la taula 4.19 observem els resultats de la sobreposició dels dos mapes sense erosionar. En ella apreciem les principals tendències en l'evolució dels usos del sòl i a través dels respectius mapes la localització:

- intensificació agrícola, de prats a herbacis, reduïda i concentrada en els aiguamolls de tinença privada (mapa 4.13),

Capítol 4: Teledetecció i canvis d'usos del sòl 1977-1993 i 1991-1997

Taula 4.19: Matriu de transicions 1991-1997, en ha.

1997 \ 1991	Arròs	Gira-sol	Blat de moro	Resta regadiu	Resta seca	Fruiters	Oliveres	Vinyes	Matolls	Caducifolis	Esclerofil·les	Prats	Urbà	Improductiu	Rius	Total
Arròs	42.8	0.0	13.1	6.5	117.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.1	0.9	0.0	4.1	0.0	186.6
Gira-sol	2.0	329.2	240.4	187.8	1020.3	72.0	1.0	53.7	118.4	0.0	16.4	31.2	0.3	33.3	0.8	2106.8
Blat de moro	0.3	0.0	1257.7	288.8	1100.5	164.5	1.4	78.2	85.8	1.2	27.4	29.8	0.0	55.5	0.1	3091.2
Resta regadiu	0.5	0.3	245.3	208.4	563.1	74.2	0.6	63.4	143.6	0.3	13.5	32.3	0.0	10.8	0.5	1356.8
Resta seca	5.6	0.1	991.6	515.3	4525.8	222.2	5.0	401.9	630.2	0.2	28.8	128.5	0.8	237.6	15.0	7708.6
Fruiters	0.4	0.0	112.4	138.6	191.0	197.8	2.4	31.8	76.0	0.3	6.0	52.0	0.7	7.7	0.9	817.8
Oliveres	0.0	0.0	1.5	1.9	10.3	0.3	504.8	1.7	12.9	0.0	0.4	1.8	0.0	0.0	0.0	535.6
Vinyes	0.0	0.0	79.8	91.6	1007.6	34.4	5.2	314.1	367.6	0.0	8.2	36.3	0.0	10.0	0.2	1955.1
Matolls	25.8	0.0	149.4	305.0	1206.7	95.9	9.5	414.1	4875.9	17.9	1297.4	1063.1	0.0	16.9	11.0	9488.6
Caducifolis	0.0	0.0	45.8	43.0	62.7	26.8	0.4	6.0	375.0	1245.3	666.3	70.2	0.0	6.2	0.2	2548.0
Esclerofil·les	0.0	0.0	6.8	4.9	29.9	6.6	0.3	2.6	1431.1	877.3	7217.8	53.9	0.0	7.0	0.0	9638.2
Prats	15.9	0.0	184.4	133.3	422.5	42.2	2.2	232.7	520.2	67.6	136.8	610.5	0.1	15.4	21.8	2405.5
Urbà	0.0	0.0	3.0	6.6	57.7	1.3	0.0	1.8	7.8	0.2	0.6	10.0	1176.8	37.5	0.4	1303.9
Improductiu	0.0	0.0	2.2	0.4	31.2	1.6	0.0	2.0	12.2	2.2	2.4	3.7	0.0	211.0	8.8	277.7
Rius i llacunes	0.0	0.0	0.9	0.5	3.1	0.1	0.0	0.3	6.9	0.5	6.0	21.6	0.0	1.7	59.8	101.4
Total	93.3	329.7	3334.2	1932.7	10349.5	939.8	532.9	1604.1	8665.7	2213.0	9428.1	2145.7	1178.8	654.8	119.6	43521.9

Taula 4.20: Matriu de transicions 1991-1997, en ha, després d'erosionar.

1997 \ 1991	Arròs	Gira-sol	Blat de moro	Resta regadiu	Resta seca	Fruiters	Oliveres	Vinyes	Matolls	Caducifolis	Esclerofil·les	Prats	Urbà	Improductiu	Rius	Total
Arròs	37.1	0.0	4.6	0.9	87.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	130.0
Gira-sol	0.1	70.9	33.2	8.0	167.7	3.2	0.0	3.3	2.2	0.0	2.6	0.2	0.0	1.6	0.0	293.0
Blat de moro	0.0	0.0	356.5	7.8	205.6	14.9	0.0	3.0	4.4	0.0	1.9	1.6	0.0	6.0	0.0	601.7
Resta regadiu	0.0	0.0	9.8	5.1	24.0	0.7	0.0	1.6	2.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	43.5
Resta seca	0.1	0.0	223.7	22.9	1274.6	19.3	0.0	43.1	30.8	0.0	0.8	2.3	0.0	19.0	0.2	1636.8
Fruiters	0.0	0.0	4.2	9.7	14.2	55.2	0.0	1.4	1.2	0.0	0.0	2.5	0.0	0.2	0.0	88.6
Oliveres	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	166.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	166.2
Vinyes	0.0	0.0	5.4	2.2	67.9	0.4	0.1	19.2	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	100.8
Matolls	8.4	0.0	2.8	10.5	51.3	0.7	0.2	34.8	999.5	1.4	77.4	46.6	0.0	0.0	0.0	1233.6
Caducifolis	0.0	0.0	2.7	0.5	1.7	2.5	0.0	0.0	14.1	736.8	54.3	2.5	0.0	0.5	0.0	815.6
Esclerofil·les	0.0	0.0	0.2	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	69.3	299.7	4361.7	0.0	0.0	1.5	0.0	4732.9
Prats	2.0	0.0	15.3	1.7	20.2	0.5	0.0	17.5	17.9	11.3	2.8	149.4	0.0	0.0	0.6	239.2
Urbà	0.0	0.0	0.1	0.9	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	747.2	15.9	0.0	776.2
Improductiu	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	66.3	0.2	68.4
Rius	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	1.3	0.4	0.0	0.0	16.4	19.0
Total	47.7	70.9	658.5	70.2	1928.0	97.4	166.5	123.9	1148.4	1049.2	4502.9	205.7	747.2	111.6	17.4	10945.5

- intensificació regadiu: de resta herbacis de secà a blat de moro o resta regadiu sobretot a l'eix de la Muga (mapa 4.14). Cal remarcar, però, que també es podia produir el procés contrari: de resta regadiu o blat de moro a resta secà. Quantitativament observem a través de la taula 4.19 que 1 663.6 ha anaven en un sentit i 1 506.9 en l'altre, que en la taula 4.20 es convertien en 229.6 i 246.6 ha respectivament. Per tot plegat podem pensar en una ralentització del procés o que la causa era el guaret tant en un any com en l'altre,
- canvis entre conreus herbacis: de resta herbacis de secà a gira-sol de forma dispersa per tota la Plana (mapa 4.15),
- abandonament agrícola: de la resta d'herbacis de secà i regadiu a matolls sobretot als aiguamolls (mapa 4.16),
- concentració dels fruiters: d'herbacis a fruiters sobretot a Sant Pere Pescador (mapa 4.17),
- regeneració de la vegetació després dels incendis forestals: de matolls a esclerofil·les al sud de la Jonquera, nord de Cantallops, nord de St. Climent i centre d'Espolla (mapa 4.18),
- transformació de les vinyes: de resta herbacis de secà a vinyes (mapa 4.19) i transformació o abandonament de les vinyes: de vinyes a resta herbacis de secà o matolls (mapa 4.20), ambdós processos als Aspres,
- estancament abandonament oliveres,
- i, finalment, conversió de la resta d'herbacis de secà (amb tota probabilitat guaret o cereals d'hivern irrigats) a arròs.

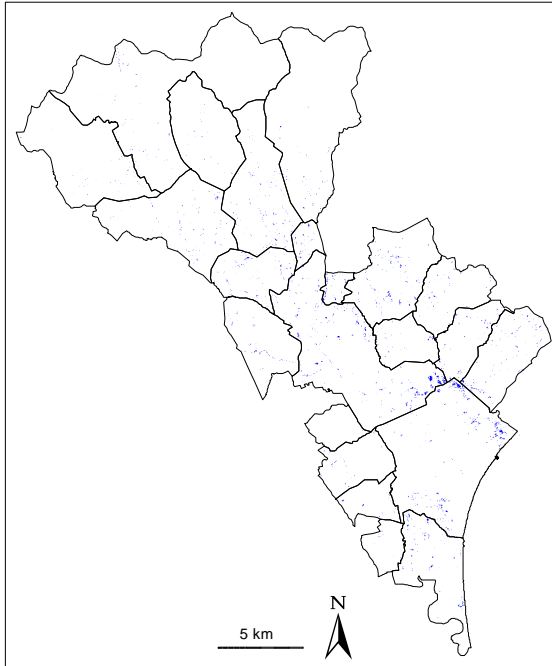
Un cop aplicada l'erosió als dos mapes (mapes 4.21 i 4.22) i sobreposats, observem a través de la taula 4.20 que de les 10 945 ha, 9 062, el 82.8% del romanent, eren invariants. A través de la taula també podem observar que els canvis més importants un cop aplicada l'erosió seguien sent els descrits anteriorment, amb algunes excepcions com en el cas dels canvis entre les esclerofil·les, els caducifolis i els matolls, que amb tota probabilitat es deuen a errors en la classificació tal com succeí entre 1977-1993.

4.5 Conclusions

Com a conclusió final d'aquest capítol podem esmentar que la metodologia emprada ha estat adient per diversos motius:

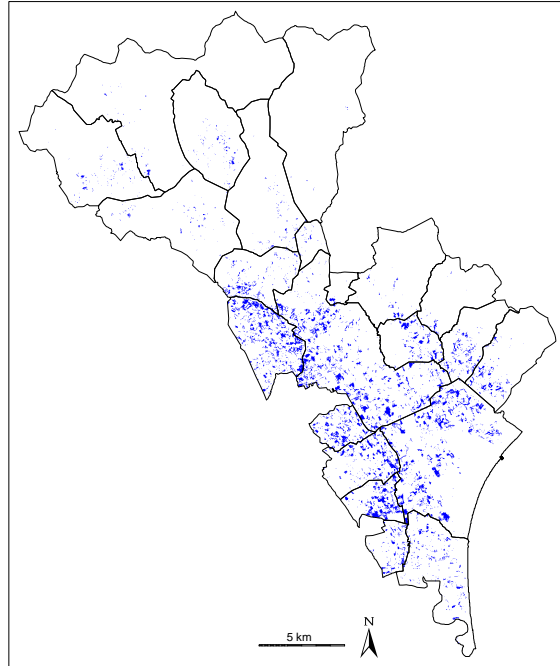
- S'ha obtingut a través del classificador híbrid unes classificacions individuals força acurades, testades amb els mètodes tradicionals (punts de test) i amb les comparacions de les dades censals (hectàrees d'ocupació).

Intensificació agrícola: de prats a herbacis



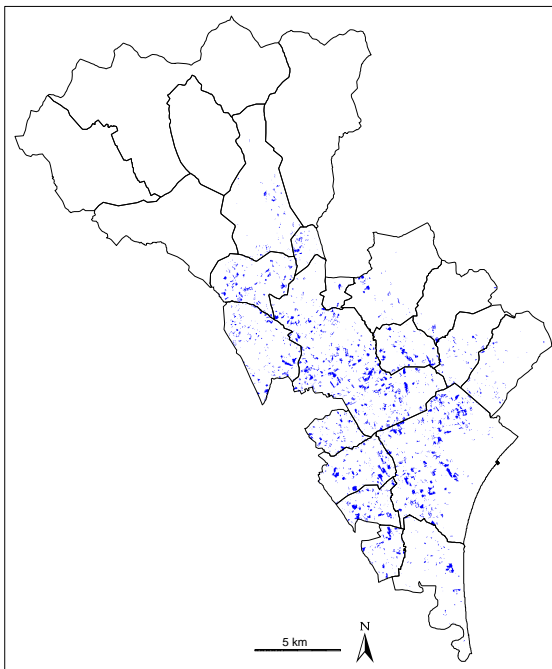
Mapa 4.13

Intensificació herbacis regadiu:
de resta herbacis secà a blat de moro i resta regadiu



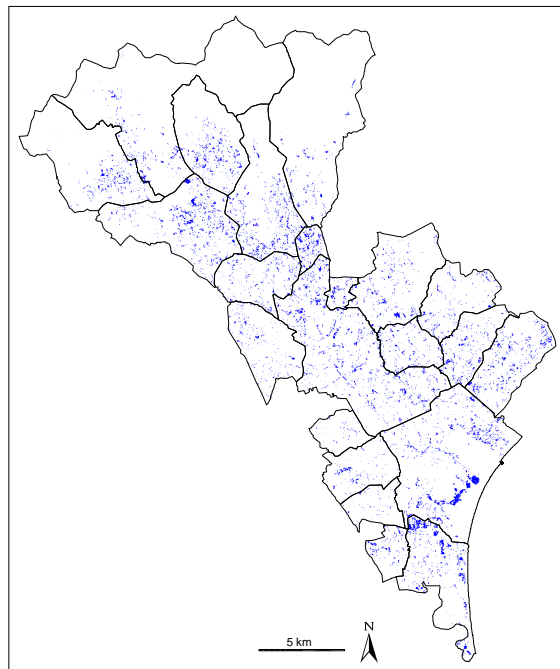
Mapa 4.14

Canvis interns: de resta herbacis de secà a gira-sol



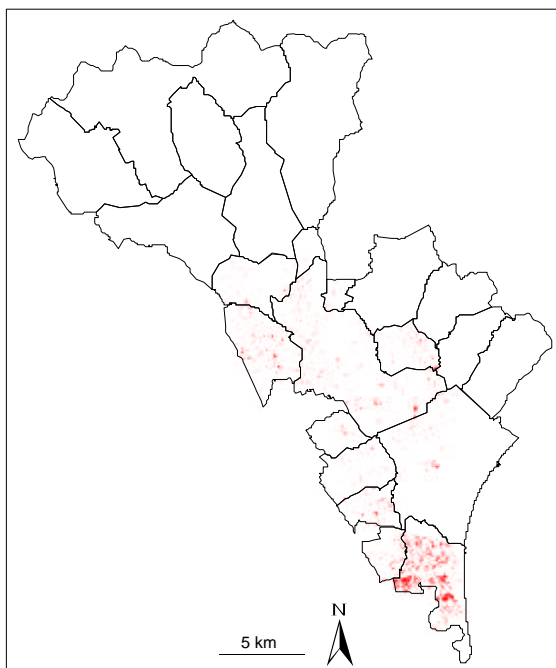
Mapa 4.15

Abandonament agrícola: d'herbacis a matolls



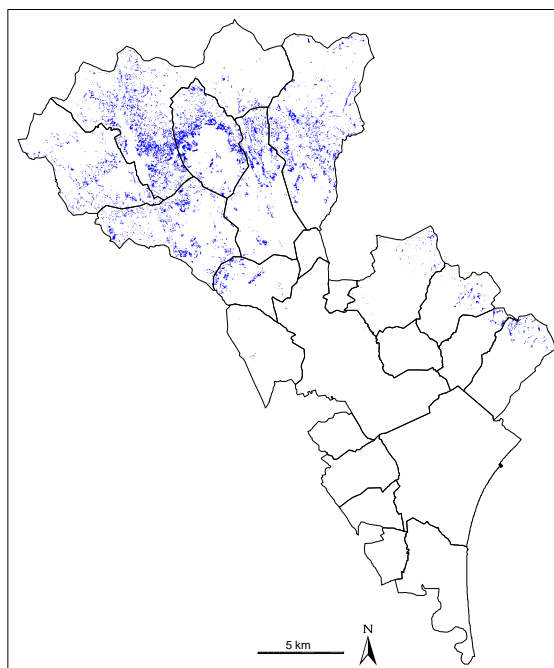
Mapa 4.16

Concentració fruiters:
d'herbacis a fruiters



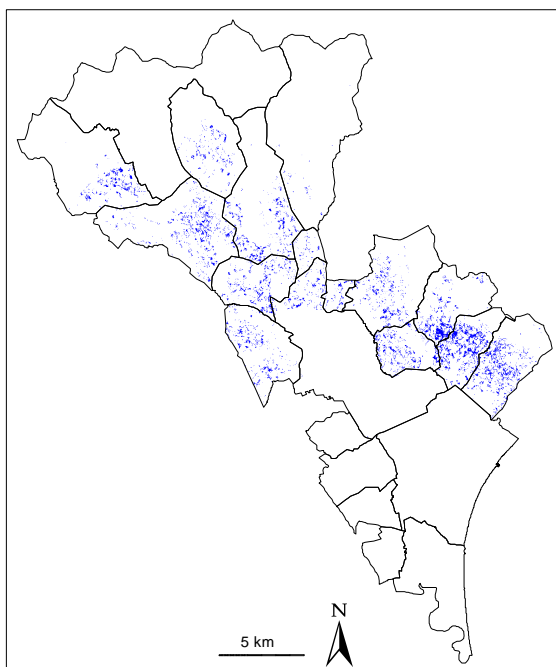
Mapa 4.17

Regeneració incendis forestals:
de matolls a esclerofil·les



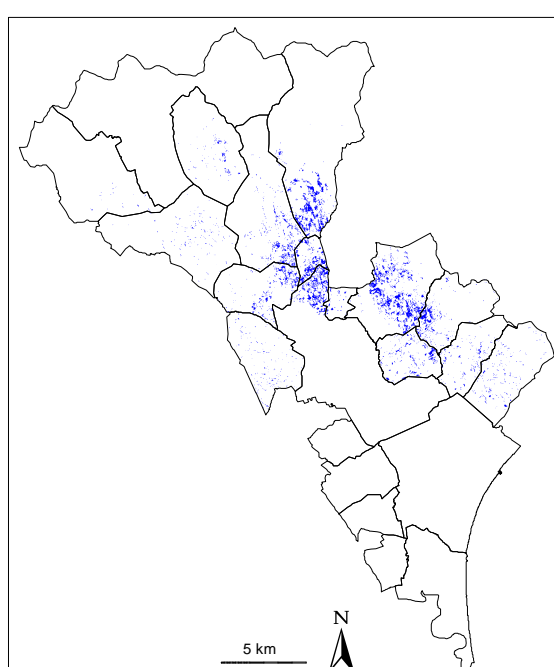
Mapa 4.18

Transformació vinyes:
de resta secà a vinyes



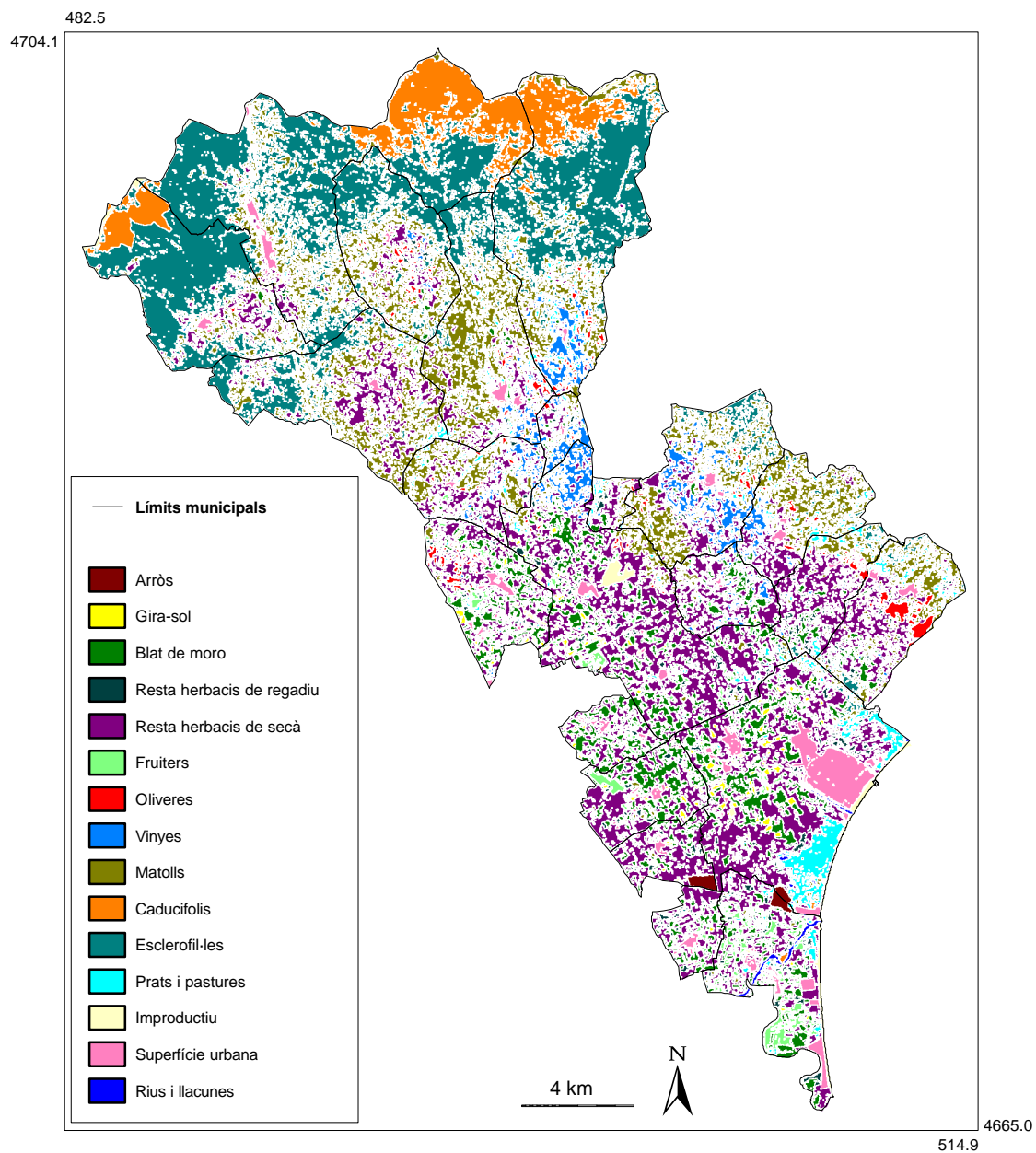
Mapa 4.19

Transformació o abandonament de vinyes:
de vinyes a resta secà o matolls



Mapa 4.20

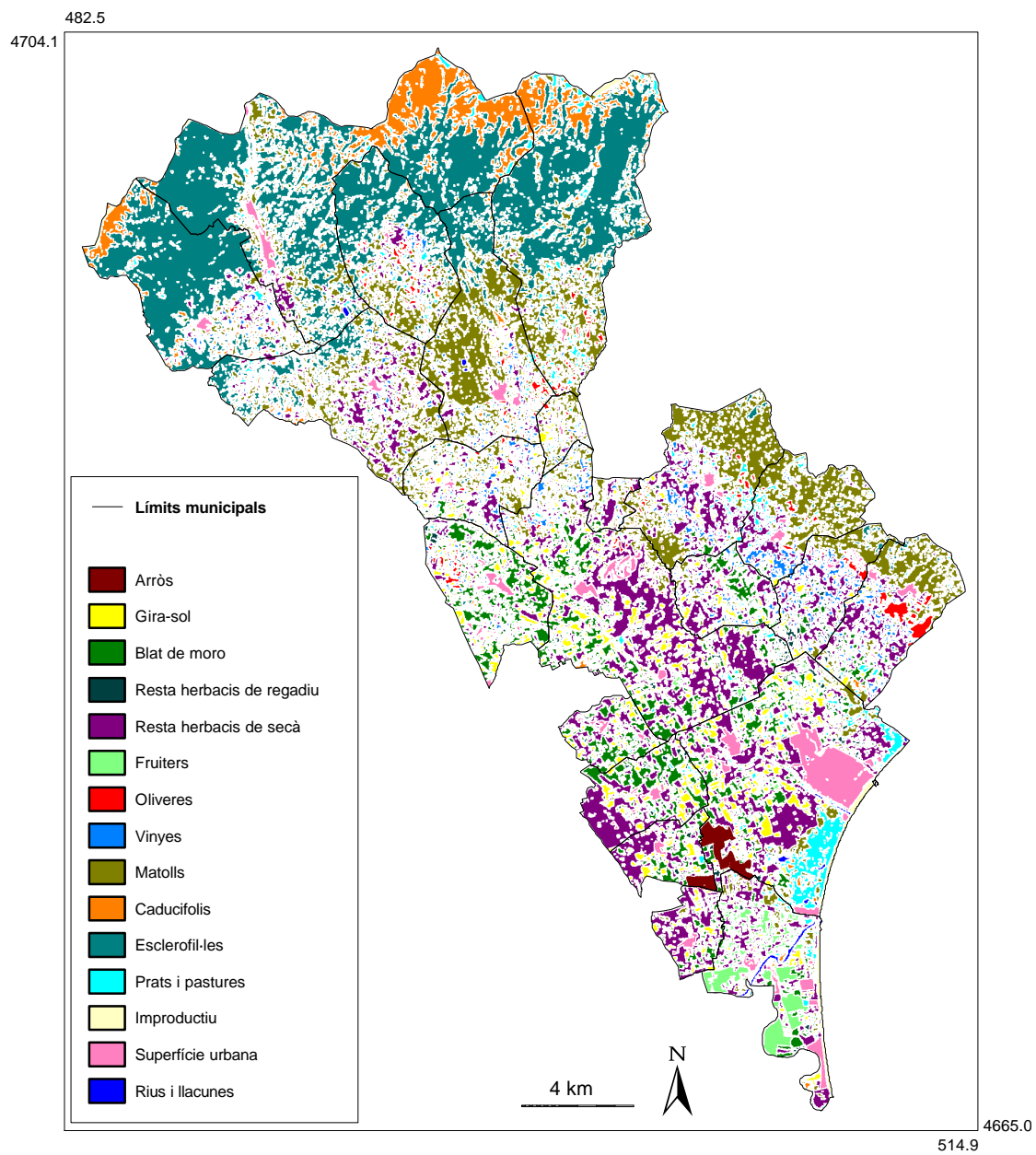
Usos del sòl 1991 erosionats



Mapa 4.21

Font: Elaboració pròpia a partir del mapa Annex 3.

Usos del sòl 1997 erosionats



Mapa 4.22

Font: Elaboració pròpia a partir del mapa Annex 4.

- Les imatges digitals, amb l'ajut de les fotografies aèries, ortofotomapes i treball de camp, ens han permès obtenir unes llegendes més detallades, sobretot agrícolament, comparat amb d'altres productes (Mapa d'usos del sòl de l'ICC, Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, etc.).
- Els canvis d'usos del sòl han estat obtinguts a través de la comparació postclassificació (sobreposició de capes). Per evitar els problemes detectats en la Memòria de Recerca (Serra, 1998), a través d'una àrea pilot (una part de la Plana de l'Alt Empordà), com ara la diferent mida de píxel, la resolució espectral, etc., els canvis d'usos s'han obtingut a través de la sobreposició de classificacions provinents del mateix sensor (MSS-MSS; TM-TM). Amb tot, els problemes derivats de la correcció geomètrica (RMS) s'han solucionat aplicant una erosió al voltant de tots els polígons, evitant de comparar localitzacions dubtoses i, per tant, l'obtenció de canvis positius i negatius falsos. Els resultats mostren importants pèrdues d'àrea d'estudi, però és preferible comparar àrees fiables (amb més d'un 95% de fiabilitat en la seva localització) que obtenir resultats ficticis

La nostra proposta ha estat veure les tendències amb els mapes sense erosionar, no tenint en compte el nombre d'hectàrees de canvi perquè són dubtoses, i considerar qualitativament (o sigui, que són processos verídics) i quantitativament només els canvis amb els mapes erosionats.

- Malgrat que la metodologia ha estat adient, s'han observat més limitacions de les remarcades *a priori* (vegeu capítol introductor) tant per al mapa obtingut amb MSS com amb TM. Aquests problemes han estat: en algunes zones dels aiguamolls, segurament amb una vegetació més secana, dificultat per diferenciar els prats dels matolls. La diferenciació entre caducifolis i esclerofil·les també ha estat problemàtica, el mateix que la discriminació entre la resta d'herbacis de secà i els matolls i entre els prats i els matolls.

Amb tot, els problemes més greus s'han produït amb la superfície urbana, que es confonia amb la resta de secà, i amb les oliveres, que a causa de la seva disposició en el territori, molt dispersa, no s'obtenia una signatura espectral pròpia. La solució passà per la fotointerpretació mitjançant el material addicional.

Per tot plegat, semblaria que a més a més de tots els requisits fins ara esmentats, caldria iniciar l'anàlisi amb el mateix nombre d'imatges per cada període, aspecte més destacat pel cas de les imatges TM ja que teníem dues imatges per als començaments dels 1990 i cinc per a mitjans (veure apartat 4.2. d'aquest capítol). L'indicador que donaria força a aquesta afirmació seria el nombre de *clusters*, que s'obtenen en funció, entre d'altres factors ja esmentats, del nombre d'imatges. Així, en l'apartat de classificació, s'ha esmentat que el

nombre de grups obtinguts per als començaments dels 1990 varen ser de 64, mentre que per a mitjans dels 1990 varen ser de 102, una diferència força remarcable. El resultat d'aquesta situació és que el mapa d'usos del 1997 tenia informació més detallada que el de 1991.

En relació a l'evolució dels usos del sòl entre 1977-1993 i 1991-1997, podem esmentar els següents processos:

- Intensificació dels conreus herbacis en detriment dels prats i pastures, sobretot a la zona dels aiguamolls en general pel període 1977-1993 i en els aiguamolls de tinença privada (entre Castelló i Peralada) pel període 1991-1997.
- Intensificació dels herbacis de regadiu en detriment dels herbacis de secà (o sigui, bàsicament cereals d'hivern) en la Plana. En aquest punt cal constatar que igualment es produïa el procés contrari, canvi dels herbacis de regadiu a herbacis de secà. Una possible explicació d'aquest fet seria que dins la resta d'herbacis de secà s'inclouïa el guaret, i, per tant, el canvi real fos d'herbacis de regadiu a no conreu. Observant la taula corresponent als canvis d'usos erosionats el nombre d'hectàrees provinents del primer procés és major que el segon, molt clar en el període 1977-1993 i menys clar entre 1991-97. Així, doncs, podríem concloure que el procés d'irrigació va alentir-se a principis dels 1990.
- Entre 1991-97 es produí un canvi significatiu dins els conreus herbacis: pèrdua de la resta d'herbacis de secà per conrear gira-sol, de forma dispersa per tota la Plana.
- Entre 1991-97 abandonament dels cereals d'hivern de secà i de regadiu en la zona dels aiguamolls a favor dels matolls.
- Increment dels fruiters en detriment dels conreus herbacis, concentrat a Sant Pere Pescador.
- Entre 1977-1993 abandonament de vinyes i oliveres a la zona dels Aspres, convertint-se en herbacis de secà o matolls. Pel cas de les vinyes cal tenir en compte que podien estar en transformació tal com veurem detalladament al proper capítol. Entre 1991-1997 sembla que la transformació ja s'havia realitzat. Pel que fa a les oliveres, en aquest període l'abandonament s'atura.
- Pel que fa a la superfície forestal, els canvis estan relacionats bàsicament amb els incendis forestals. Així, entre 1977-1993 s'observa la regeneració de l'important incendi de la serra de Comunera (1978), restituint-se les esclerofil·les, mentre que als Aspres aquesta regeneració no es produí, mantenint-se els matolls. Els incendis de 1986 provocaren un increment del matollar en detriment de les esclerofil·les sobretot al centre d'Espolla i nord de Sant Climent. Entre 1991-1997, la regeneració de les esclerofil·les, a causa dels incendis de 1986, s'observa gairebé a les zones esmentades anteriorment.

- Entre 1977-1993, s'abandonaren en les parts altes de la zona de muntanya prats i pastures a favor de la regeneració de la superfície forestal (matolls, etc.).
- Finalment, entre 1977-1993 es produí un increment de la superfície urbanitzada sobretot en detriment dels herbacis de secà, a Empúriabrava, al camp de golf de Peralada i a la zona costanera amb càmpings molt extensos. Entre 1991-1997 el creixement urbà va ser força més reduït.