

CAPITOL 5. DISCUSSIÓ DE RESULTATS

En aquest capítol es fa una discussió dels resultats obtinguts en el capítol anterior. La primera part es centra en els problemes de correcció de les imatges. La segona part tracta la validació dels resultats obtinguts amb les imatges AVHRR, comparant els resultats amb dades d'altres estudis o d'altres sensors. La tercera part s'ocupa de la integració dels paràmetres de superfície obtinguts per al model meteorològic de mesoescala MM5, un dels objectius del projecte IMPACTE. La discussió de resultats es centra en la problemàtica associada a la caracterització de les condicions de superfície que fa el model MM5 a través d'un mapa d'usos del sòl. S'analitzen dos mapes d'usos del sòl, el que té per defecte MM5 i el CORINE, mapa d'usos del sòl que es fa servir en el següent capítol per tal de millorar les simulacions de MM5. Finalment es discuteix la validesa dels mapes d'usos del sòl per a assignar valors d'inèrcia tèrmica a la superfície dins del model MM5.

5.1. Estudi de les correccions realitzades a les imatges AVHRR

A continuació s'analitzen diversos aspectes de la correcció realitzada a les imatges AVHRR. Les mancances en l'homogeneïtzació d'aspectes geomètrics, d'il·luminació o atmosfèrics deixen un residu en el senyal que hauria de correspondre només a les característiques de la superfície estudiada. Aquests residus afecten després els resultats obtinguts i emmascaren les variacions en el cicle anual degudes als canvis que es produeixen al llarg de l'any en la superfície terrestre.

5.1.1. Correcció geomètrica

Malgrat que les imatges presenten en conjunt errors geomètrics de poca importància, les zones elevades, sobretot els Pirineus, presenten variacions de superposició entre imatges superiors a l'error conjunt, arribant a ser de varis píxels. Aquests errors fan pensar en la necessitat d'incorporar un model digital d'elevacions al mètode de correcció geomètrica, per realitzar una millor correcció de les imatges. Per millorar la geometria de les imatges caldria implementar una correcció específica per a les característiques del AVHRR, com la proposada per Moreno i Melià (1994). Aquest mètode està adaptat a la falta d'uniformitat de l'interval de mostreig al llarg de la línia d'escaneig, a la superposició entre línies adjacents de píxels i a l'augment en els angles de visió a mesura que el sensor va del nadir als extrems laterals de la imatge. El punt més important que es pretén resoldre amb aquest mètode és l'efecte angular

associat a la canviant geometria de visió del AVHRR. Segons el mètode de correcció del CCRS, de Latifovic *et al.* (1999), cal eliminar en el processat la part d'imatge on l'angle de visió del sensor està per sobre de 70° respecte de la normal, degut als importants efectes geomètrics i d'adjacència. Aquest aspecte no s'ha tingut en compte en aquest treball, ja que en alguns mesos es disposava de poques imatges sense núvols i aplicar aquesta condició hagués fet reduir encara més les dades per al càlcul de les composades mensuals.

L'optimització en el remostreig geomètric és un tema important, ja que busca una millor reconstrucció dels valors radiomètrics de la imatge, fet que repercuteix en el càlcul dels paràmetres de superfície. Fóra convenient invertir més temps en aquests aspectes a l'hora de fer un processat automàtic de dades AVHRR.

Analitzant les imatges corregides de l'any 2000, els problemes de superposició als Pirineus entre imatges de diferents dies es veuen magnificats per l'alta variabilitat espacial de la cobertura del sòl d'aquesta zona. La neu presenta una distribució molt variable en certes èpoques de l'any, trobant-se només a les parts més elevades de les muntanyes. La no coincidència d'aquestes cobertures en imatges d'un mateix mes han generat errors en el càlcul de l'albedo i la TST. Això es veu reflectit també en els resultats d'inèrcia tèrmica, que presenta variacions espacials massa brusques en la zona dels Pirineus. Aquestes variacions es fan paleses a l'hora de calcular els valors mitjans dels paràmetres per a les categories del mapa d'usos del sòl (vegeu els resultats per la categoria 34 de la taula 4.15).

5.1.2. Correcció d'il·luminació i atmosfèrica

La correcció de l'angle solar fa augmentar la reflectivitat de la imatge en un 5-10%, en funció del mes de l'any i del tipus de coberta, mentre que la correcció atmosfèrica fa augmentar la reflectivitat entre un 1 i un 3%. Les correccions dels dos factors venen a representar un increment del 10% de la reflectivitat en el canal del visible, fet que repercuteix en el càlcul posterior de l'albedo i de retruc a la inèrcia tèrmica. El NDVI es veu menys afectat ja que la divisió de bandes que fa l'índex atenua els efectes angulars i atmosfèrics. Un exemple dels canvis que suposen les correccions es pot veure a la figura 5.1, on es presenta un perfil horitzontal de reflectivitats per al dia 5 de setembre de 2000 pel canal visible. S'hi mostra la reflectivitat sense corregir, la reflectivitat corregida segons el cosinus de l'angle solar zenital i la reflectivitat corregida pels efectes d'il·luminació i atmosfèrics a través del SMAC.

5.1.2.1. Efectes de les mancances en la correcció de la il·luminació

En aquest treball s'ha fet servir una correcció de la il·luminació conceptualment simple, que modifica la reflectància en funció del cosinus de l'angle zenital solar (vegeu apartat 4.2.1). Segons Syren (1994) per sobre d'angles zenitals de 70° la relació entre la reflectància i el cosinus del SZA no és lineal, fet que limita el mètode de correcció a angles per sota de 70° . Les imatges de la passada de la tarda del AVHRR presenten angles zenitals superiors a 70° durant 4 mesos l'any, essent superior a 80° durant el novembre i el desembre (vegeu figura 4.2). Així, aplicant la normalització segons el SZA s'està assumint que els resultats de novembre i desembre seran erronis, mentre que els de gener i octubre poden presentar problemes d'il·luminació, ja que es troben en la zona límit.

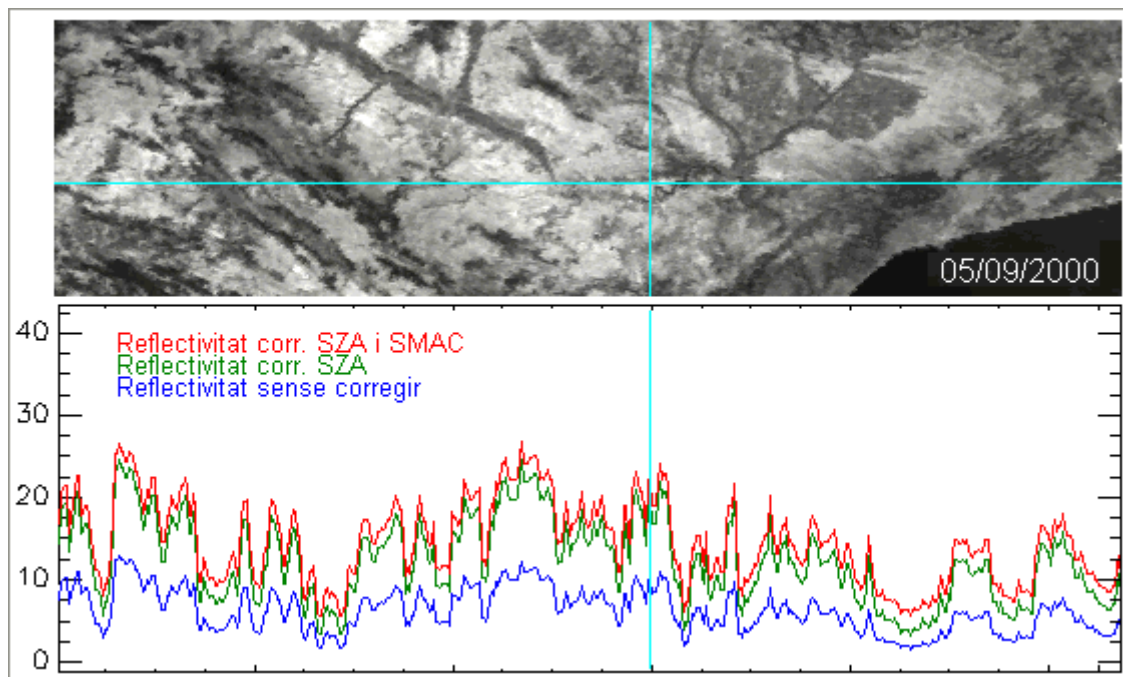


Figura 5.1. Perfil horitzontal d'una fracció del canal del visible del dia 5 de setembre de 2000. Reflectivitat sense corregir (blau), reflectivitat corregida segons el cosinus de l'angle solar zenital (verd) i la reflectivitat corregida per l'efecte del SZA i de l'atmosfera a través del SMAC (vermell).

S'ha descartat aplicar un mètode basat en la BRDF, degut a la seva complexitat i perquè no es disposava dels factors BRDF de la regió de treball ni de recursos per a la seva estimació.

5.1.2.2. Efectes de la correcció atmosfèrica en els resultats d'albedo

Així com l'índex NDVI minimitza els efectes atmosfèrics fent una divisió entre canals, l'albedo combina la senyal d'aquests dos canals i per tant els efectes de la correcció atmosfèrica també es sumen en els resultats d'albedo. A la figura 5.2 es presenten les diferències entre els albedos mensuals obtinguts amb les imatges corregides atmosfèricament respecte dels albedos calculats sense correcció atmosfèrica, per a les categories del USGS-24. Es pot observar com en general la correcció atmosfèrica fa incrementar l'albedo en les categories terrestres mentre que fa disminuir l'albedo de l'aigua. La taula 3.2. resumeix els efectes atmosfèrics sobre els canals 1 i 2 del AVHRR. Bàsicament l'ozó i el vapor d'aigua atmosfèrics fan disminuir les reflectivitats observades, mentre que els aerosols la incrementen. Es pot observar a la figura 5.2 que quan la reflectivitat de la superfície observada és elevada, té més pes l'efecte de l'ozó i del vapor d'aigua que el dels aerosols. Així, quan s'eliminen els efectes atmosfèrics, pugen les reflectivitats del conjunt de les categories terrestres. L'augment és proporcional a la reflectivitat, ja que els increments són més importants en les categories amb major albedo, com per exemple quan hi ha neu durant els mesos d'hivern. En canvi, per a reflectivitats molt baixes, com la de l'aigua, els efectes dels aerosols són més importants que els del vapor d'aigua i de l'ozó, i les reflectivitats que s'obtenen amb correcció atmosfèrica són menors que les originals. Hi ha algunes categories, com el matollar, la sabana, el bosc mixt i el erm o amb vegetació escassa que sobretot al gener, i en alguns casos al febrer, tenen reflectivitats molt baixes, fent que en la correcció es comportin com l'aigua i que les reflectivitats després de la correcció siguin menors a les originals. Aquestes reflectivitats tant baixes no semblen correctes i a més a

més la correcció atmosfèrica encara les redueix més. La valoració d'aquestes reflectivitats anormalment baixes del gener i del febrer es fa al subapartat 5.2.2.

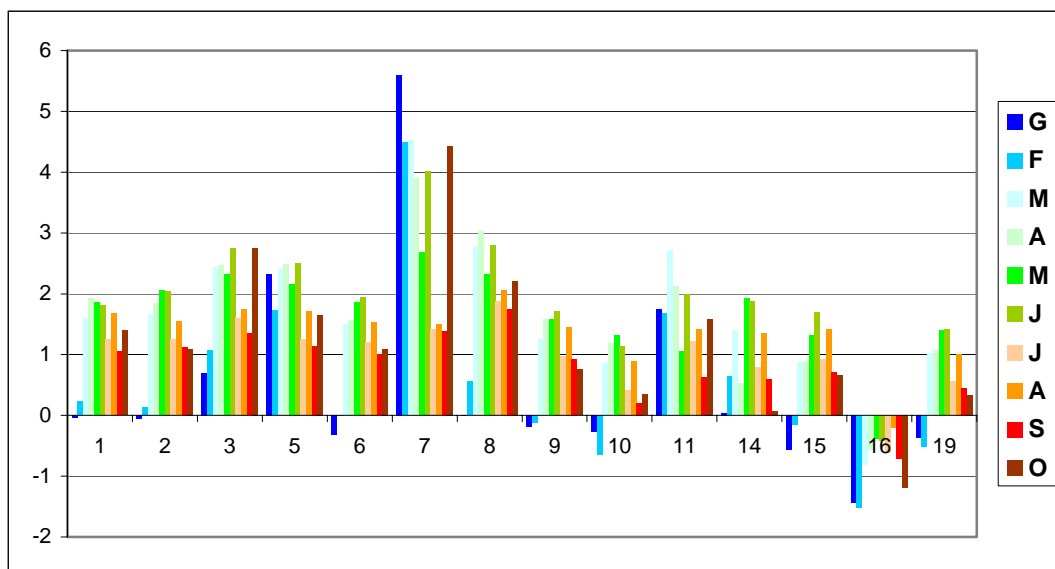


Figura 5.2. Diferències entre l'albedo obtingut amb les imatges corregides atmosfèricament respecte dels albedos calculats sense correcció atmosfèrica per a les categories del USGS-24.

Deixant de banda els mesos d'hivern es pot observar, per a la majoria de les categories, com en els mesos de primavera (de març a juny) l'augment d'albedo originat per la correcció és gairebé del doble del que es produeix en els mesos d'estiu (de juliol a setembre). Finalment a l'octubre els canvis en l'albedo tornen a presentar un comportament més extremat, similars al gener i febrer, augmentant molt en categories amb alta reflectivitat com la neu de la categoria 7 (prats) o amb augments mínims en categories de poc albedo com els boscos (cats.14 i 15). Cal també destacar que la correcció atmosfèrica fa disminuir els albedos baixos, com els de l'aigua o els de gener i febrer d'alguna altra categoria.

5.2. Validació dels paràmetres de superfície obtinguts

La validació dels resultats obtinguts no és una tasca fàcil, ja que és difícil trobar uns valors de referència amb els quals poder comparar els resultats. Els valors d'albedo, emissivitat, etc. que s'han trobat en la revisió bibliogràfica acostumen a ser força genèrics (fan referència a categories d'usos del sòl molt simples) i no acostumen a contemplar la variació anual.

Per validar els resultats obtinguts es van comparar aquests amb 2 tipus de dades, els NDVI derivats del satèl·lit SPOT-VGT i les dades obtingudes per Cunillera (1995). En primer lloc, es comparen les dades de NDVI del SPOT-VGT, amb els NDVI obtinguts amb el AVHRR. Les dades del SPOT-VGT són molt interessants, ja que el NDVI derivat de les sintètiques S_{10} té la mateixa resolució espacial que les AVHRR facilitant-ne la comparació. A més, els canals SPOT-VGT es corregeixen atmosfèricament amb el mateix algorisme usat en aquest estudi (el SMAC) i presenten una qualitat geomètrica molt bona, essent una bona referència.

El segon grup de dades usades en la validació ha estat el conjunt de resultats obtinguts per Cunillera (1995) en la seva caracterització agroclimàtica de Catalunya. Aquests resultats han estat una bona referència per la validació, ja que corresponen a part de la regió de treball i, a més, tenen en compte la fenologia anual.

5.2.1. Validació del NDVI amb dades SPOT-VGT

Les dades de NDVI del SPOT-VGT han estat les dades més similars a les processades que s'han trobat. Els NDVI obtinguts amb els dos sensors són lleugerament diferents, ja que el rang d'espectre de les bandes usades en el càlcul d'aquest índex no és el mateix en ambdós satèl·lits. L'ample de banda de l'infraroig proper és més ample en el sensor AVHRR (vegeu figura 3.1 del capítol 3) fet que atenua la resposta de la vegetació activa. El canal del NIR en el SPOT-VGT és més estret i està centrat en la zona de màxima resposta de la vegetació activa. El mateix passa en el canal del visible (AVHRR) i del vermell (VGT) usats per al càlcul del NDVI, però donant-se l'efecte contrari, ja que la major amplitud del canal en AVHRR fa que la resposta (poca senyal) de la vegetació activa en aquest canal sigui menys acusada que en el cas de VGT. La combinació d'aquests dos efectes porta a que el NDVI calculat amb el SPOT-VGT doni valors més elevats que en el cas del NOAA-AVHRR per a un mateix blanc de sòl.

Aquest fet s'aprecia clarament a la figura 5.3, on es pot veure que el NDVI de VGT (en vermell) sempre és superior al del AVHRR (en blau). També es pot veure com a mesura que la categoria té més cobertura vegetal, les diferències són majors, fruit de la millor caracterització del sensor VGT de la vegetació activa. Malgrat aquesta diferència en el NDVI, es poden comparar els cicles anuals del NDVI d'ambdós sensors per veure si les corbes d'evolució presenten el mateix patró.

La categoria urbana serveix per comprovar l'homogeneïtat de les dades en quant a calibració i correccions, ja que és la categoria terrestre amb la cobertura menys variable al llarg del cicle anual. A la figura 5.3 es pot veure com el comportament d'aquesta categoria és força constant en els dos NDVI, malgrat hi ha una certa estacionalitat, fruit de la "contaminació vegetal" dels píxels assignats a urbà, que és inevitable a resolucions d'un quilòmetre. A la figura 5.4 es presenten les diferències entre NDVI calculats amb AVHRR i VGT de diverses categories. Per a la categoria urbana, es pot observar com aquestes diferències són força constants en els deu mesos estudiats, excepte per al gener i el febrer, on les diferències són menors.

En les categories amb vegetació i amb canvis fenològics importants, es veu amb major claredat la menor estabilitat del NDVI del AVHRR. Aquest problema es deriva del nombre d'imatges usat en els càlculs, molt superior en el cas del NDVI derivat del VGT. En els resultats d'AVHRR hi intervenen entre 4 i 9 imatges per cada mes, nombre limitat d'imatges que no sempre és suficient per homogeneïtzar les diferències entre les imatges del mes (diferències residuals de la correcció atmosfèrica, geomètrica i filtrat de núvols). La selecció d'imatges mensuals va seguir un criteri de cobertura de núvols, i no sempre es va fer una selecció d'imatges que cobrís totes les setmanes o períodes de 10 dies del mes, fet que també pot influir en la menor estabilitat de les mitjanes mensuals d'AVHRR.

Als mesos d'hivern s'aprecien diferents comportaments en les diferències de NDVI, essent el febrer el mes amb les diferències mitjanes mínimes dels deu mesos estudiats (vegeu figura 5.4). En canvi, al març

les diferències són força més elevades, i aquest canvi entre febrer i març es pot apreciar a totes les sèries de la figura 5.3. Comparant amb la sèrie de VGT, sembla que els NDVI del AVHRR de febrer són massa elevats i els de març massa baixos.

D'abril a juny es donen les grans crescudes de NDVI a les categories més estacionals, com són les boscos de caducifolis o els prats de muntanya, on es combina la desaparició de la neu amb el creixement vegetatiu típic de la primavera. En el càlcul de la mitjana del maig, per al AVHRR les imatges són totes, menys una, de la segona quinzena del mes. Això es nota en les sèries de les categories on hi ha aquests salts de NDVI, la 7 i la 11, ja que els NDVI són pràcticament iguals entre AVHRR i VGT, estant el d'AVHRR sobreestimat ja que la mitjana contempla més mostres del final de la crescuda vegetal que de l'inici. Aquest és un indicador de que un mes és un període massa ampli per no incloure variacions importants en les característiques de la cobertura terrestre.

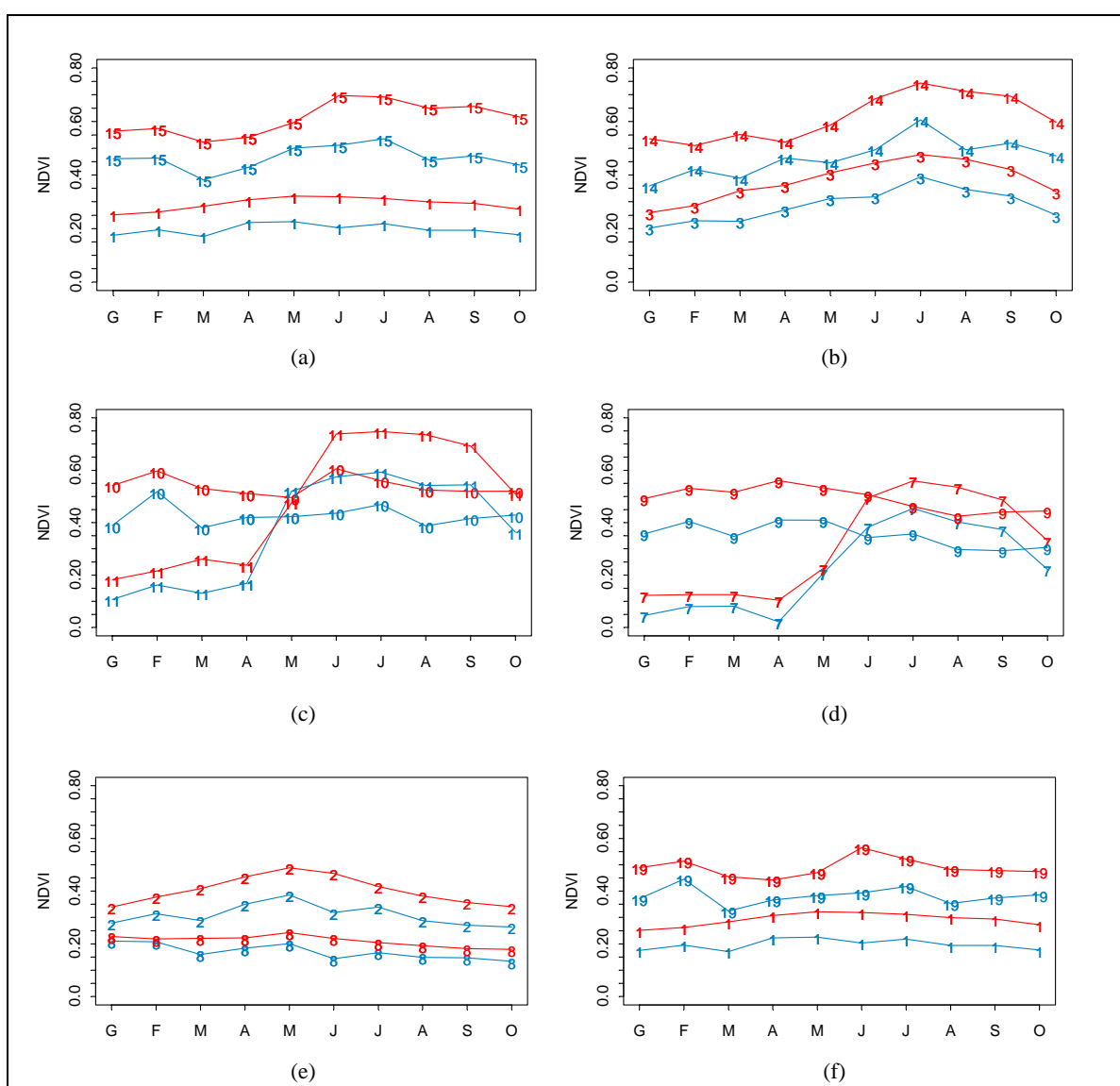


Figura 5.3. Sèries anuals de NDVI, de gener a octubre per a AVHRR (blau) i VGT (vermell). Categories del USGS-24: (a) 1. Urbà i zones construïdes i 15. Boscos amb barreja d'espècies (b) 3. Cultius i pastures de regadiu i 14. Bosc de coníferes perennes. (c) 10. Sabana i 11. Bosc caducifoli de fulla planifòlia (d) 7. Prats i 9. Barreja matollar i prats. (e) 2. Cultius i pastures de secà i 8. Matollar, (f) 1. Urbà i zones construïdes i 19. Àrid o amb vegetació escassa.

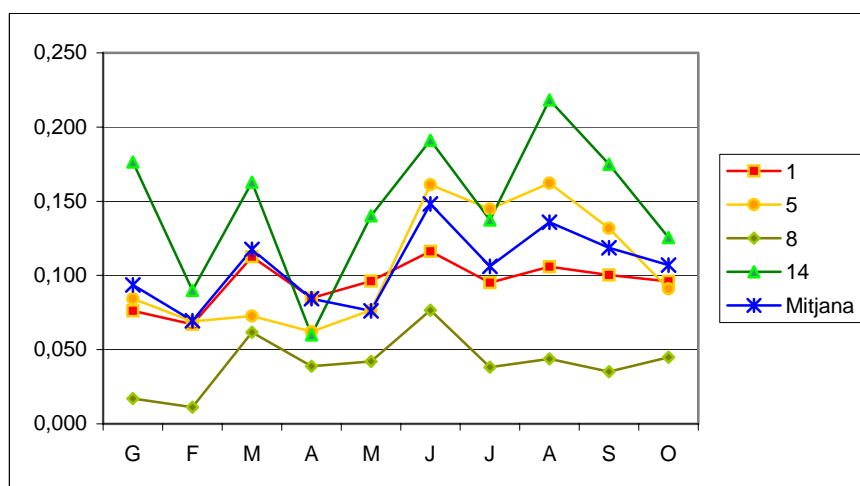


Figura 5.4. Diferències entre les sèries de NDVI per a VGT i AVHRR, per les categories del USGS-24: 1. Urbà, 5. Mosaic de cultius i prats, 8. Matollar i 14. Bosc de coníferes.

Finalment, en els mesos d'estiu s'observa un comportament força diferent entre juliol i agost, essent les diferències entre NDVI molt diferents en aquests dos mesos. L'observació de les sèries de la figura 5.3 sembla indicar que hi ha una sotaestimació del NDVI pel mes d'agost; mentre que setembre i octubre presenten un comportament força similar en el NDVI calculat amb AVHRR i VGT.

5.2.2. Validació dels resultats d'albedo

Per tal de validar els resultats d'albedo obtinguts, es van comparar amb els resultats de Cunillera (1995), que va estimar l'albedo pel conjunt de Catalunya. Cunillera fa servir en el seu càlcul l'expressió 5.1, que requereix tres dades. Per cada unitat del mapa calen dades del percentatge de cobertura vegetal, del percentatge de sòl nu i dels valors d'albedo tant del tipus de sòl com del tipus de vegetació. Per establir les combinacions de tipus de vegetació/tipus de sòl l'autor proposa per a Catalunya el mapa d'usos del sòl de 18 categories del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya (DMA'97) així com un mapa amb 15 classes de terreny (Viñas *et al.* 1991). L'assignació de valors d'albedo per als diferents usos del sòl es fa per a cada combinació de cobertura/terreny, amb l'expressió:

$$\alpha_{kl} = z_l \alpha_{il} + (1 - z_l) \alpha_{il} \quad (5.1)$$

On α_{kl} és l'albedo d'un determinat ús del sòl, α_{il} és l'albedo de la fracció amb coberta vegetal, α_{jl} és l'albedo de la fracció de sòl nu, i z_l correspon al percentatge de superfície amb cobertura vegetal. Aquest percentatge (z_l) és variable al llarg de l'any, variant en funció de la fenologia de cada categoria.

Per poder comparar els resultats, es van calcular els valors mensuals d'albedo obtinguts amb el AVHRR per a les categories del mapa d'usos del sòl del Departament de Medi Ambient de l'any 1997 (DMA'97), les mateixes usades per Cunillera (1995). A continuació es comparen ambdós valors d'albedo al llarg del cicle anual (excepte novembre i desembre).

Del seguit de categories del DMA'97 de la figura 5.5, les majors diferències entre albedos es donen a la categoria urbana (vegeu figura 5.5a). Així com l'albedo teòric és força més elevat i constant al llarg de l'any, el valor calculat amb les imatges AVHRR és força més baix. La diferència d'albedos té relació amb la resolució espacial del AVHRR. La categoria urbana té poca presència relativa en la superfície terrestre i un quilòmetre quadrat és una unitat de superfície massa gran per poder contenir només cobertura urbana, estant sempre les mostres d'aquesta categoria contaminades per aigua o vegetació, que en fan disminuir la reflectivitat.

L'homogeneïtat teòrica al llarg de l'any de la categoria urbana és un bon indicador per valorar la qualitat dels resultats. El patró anual de la categoria urbana en els resultats AVHRR no és tot el constant que hauria de ser, i això és indicatiu de problemes de contaminació residual en les dades, ja sigui atmosfèrica, angular o de manca de representativitat mensual dels dies seleccionats en els càlculs. Destaca la menor diferència entre els NDVI pel gener i el febrer de la resta de mesos de l'any, exceptuant potser el setembre. Aquesta diferència entre gener/febrer i la resta s'observa a gairebé totes les categories i per tant sembla un problema general de les composades mensuals d'aquests dos mesos. Aquests problemes en les composades de gener i febrer es magnifiquen en els resultats d'albedo, ja que s'obtenen valors més baixos de l'esperat. Si es consideren valors en el canal visible més baixos del normal, s'obtenen valors d'albedo més baixos ($\text{albedo} = \text{VIS} + \text{NIR}$). A l'hora però aquests valors baixos del visible provoquen un augment en l'índex de vegetació ($\text{NIR} - \text{VIS}$), atenuats per la normalització de l'índex ($\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{VIS}}{\text{NIR} + \text{VIS}}$). Això podria explicar els valors per sota dels esperats en l'albedo del gener i del febrer i alhora els valors per sobre dels esperats en el NDVI. Però, per què els mesos de gener i febrer presenten reflectivitats tant baixes al canal del visible? Una possible explicació és la major presència d'ombres en aquests mesos degut a la baixa elevació solar. Els angles solars zenitals de gener són superiors als 70° mentre que pel febrer estan entre 60 i 70° . El mes de setembre té uns angles zenitals similars al febrer i l'octubre similars al gener. Així com el setembre també sembla tenir uns valors en conjunt massa baixos, a l'octubre no sembla que s'observi tant l'efecte del SZA. De fet, la normalització (vegeu subapartat 3.2.2.1) típicament aplicada a les imatges per corregir els efectes angulars tendeix a sobreestimar les reflectàncies, fet que es dona en els resultats de novembre i desembre, però que no s'aprecien al gener o al febrer. Així doncs, sembla que per als primers mesos de l'any pesa més l'efecte de les ombres de la cobertura que no pas la sobreestimació que es pot produir en la normalització d'imatges amb angles solars zenitals superiors als 70° on la relació entre la reflectància i el SZA deixa de ser lineal. Amb aquests resultats també es posa de manifest la capacitat d'esmoreir els efectes topogràfics del NDVI, capacitat que no té l'albedo, calculat a partir d'una suma de bandes.

Respecte les categories agrícoles (vegeu figura 5.5 b, c i d), la diferència més aparent entre els resultats derivats de les imatges AVHRR i els bibliogràfics són les diferències entre els patrons de variació anual. Els valors determinats per Cunillera són molt homogenis al llarg de l'any (conreus herbacis de regadiu i vinya) i quan es produeixen variacions, aquestes són molt importants com per produir-se en un sol mes com en el cas dels fruiters de secà. Els resultats del AVHRR sembla que per una banda presenten unes variacions més suaus entre mesos, més d'acord amb els canvis fenològics que es donen realment, però per l'altra banda semblen indicar que les dades d'albedo calculades no són representatives de les categories agrícoles del DMA'97. En les dues categories forestals, els resultats de AVHRR són força similars, mentre que teòricament l'albedo de les bosquines i prats hauria de ser més elevat i uniforme al llarg de l'any. En la categoria bosc d'escleròfiles és on l'albedo calculat amb teledetecció és més similar al

bibliogràfic al llarg del cicle. Aquesta categoria és força més homogènia espacialment i temporalment que les agrícoles i la similitud entre resultats AVHRR i els bibliogràfics donen consistència a la manca de relació entre els albedos de superfície i les categories agrícoles del DMA'97 apuntada anteriorment.

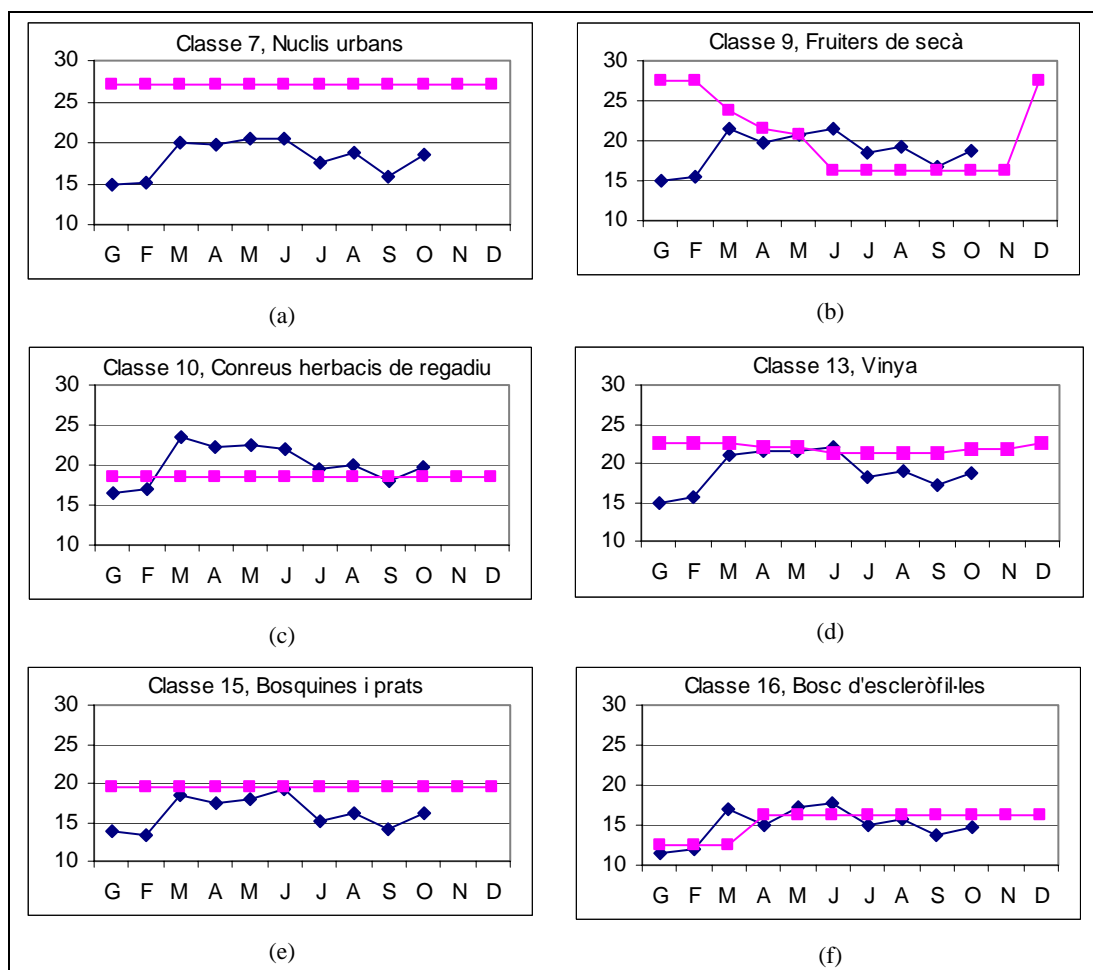


Figura 5.5. Cicles anuals d'albedo (%) per a les categories del DMA'97 segons Cunillera (1995) (quadrats) i els resultats derivats del AVHRR (rombes).

5.2.3. Validació dels resultats d'emissivitat

Per tal de validar les estimacions d'emissivitat, també s'han comparat els resultats calculats amb el AVHRR amb els valors bibliogràfics per les categories del DMA'97. En el cas de l'emissivitat, Cunillera (1995) proposa per a Catalunya una divisió en 18 tipus d'ús del sòl i en 15 tipus de terreny, aplicant el mateix tipus d'expressió que usa en l'albedo (5.1) pel càlcul de les emissivitats per les categories del DMA'97 al llarg del cicle anual. A la figura 5.6 es comparen les emissivitats de 6 categories d'aquest mapa d'usos del sòl.

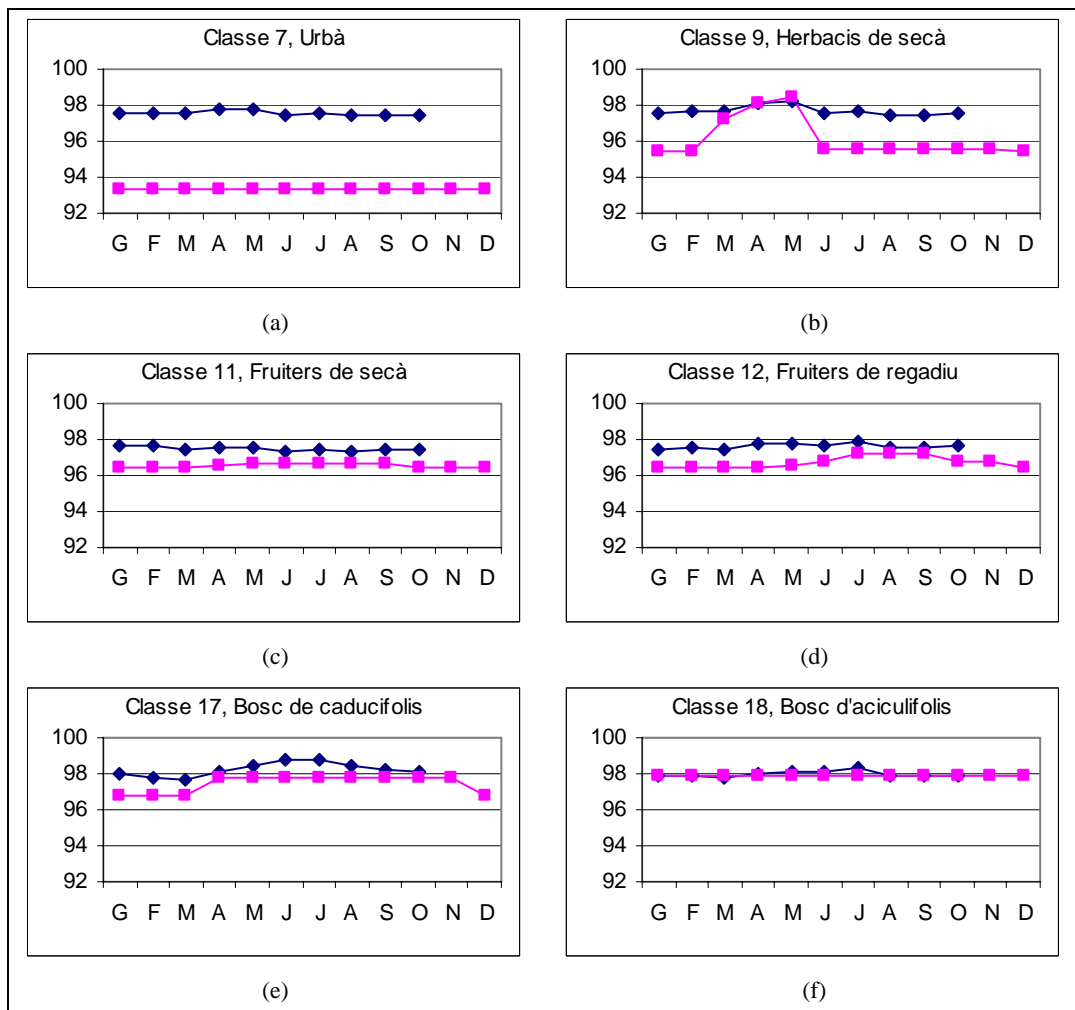


Figura 5.6. Cicles anuals d'emissivitat (%) per a les categories del DMA'97, calculats amb els valors de Cunillera (1995) (quadrats) i els resultats d'AVHRR (rombes).

En les classes representades a la figura 5.6, la diferència més gran es dona en la classe urbana, com passava amb l'albedo, i els motius d'aquesta diferència tenen a veure amb la resolució del AVHRR i la "contaminació vegetal", efectes ja comentats en la discussió de resultats de l'albedo.

Pel que fa a la resta de classes, en l'emissivitat s'observa també la diferència en els patrons de variació anuals, amb variacions més acusades en les dades bibliogràfiques i més suaus al AVHRR. En els conreus herbacis de secà, la pujada d'emissivitat de la primavera s'observa en les dues sèries, encara que els canvis són molt més acusats en les dades de Cunillera. En aquest període les emissivitats són similars, mentre que a la resta de l'any les calculades per Cunillera són més baixes.

En les categories dels fruiters (vegeu figura 5.6 c i d), ambdues sèries són molt similars, amb poques variacions. En el bosc de caducifolis el patró anual és força similar, encara que hi ha més diferències que en el bosc d'aciculifolis, on els valors són pràcticament iguals, però l'emissivitat segons Cunillera és constant al llarg de tot l'any mentre que en l'emissivitat calculada amb teledetecció hi ha una mínima variació estacional amb valors estivals superiors a la resta.

5.2.4. Validació dels resultats d'inèrcia tèrmica

Per comparar els resultats obtinguts d'inèrcia tèrmica, a part de les dades del USGS-24 del model MM5, només es disposa d'un resultat puntual, el calculat per Cunillera (1995) a l'estació de Mas Badia de la Xarxa Agroclimàtica de Catalunya (XAC), per la categoria de fruiters de regadiu i la d'herbacs de secà (vegeu figura 5.7). Els valors d'inèrcia tèrmica en les imatges AVHRR per a l'estació de la XAC es van calcular amb una mostra de 9 km² centrada en l'estació.

La inèrcia tèrmica es calcula amb dades d'albedo i d'amplitud tèrmica. Els valors baixos d'albedo del gener i febrer repercuteixen en els resultats d'inèrcia tèrmica. Però deixant de banda aquest problema, per la resta ambdós resultats són força similars i les sèries mostren el mateix patró de comportament anual.

Per altra banda, si es comparen els valors obtinguts amb els valors d'inèrcia tèrmica del mapa d'usos del sòl USGS-24, aquests últims són més baixos, amb valors de 0,04 en les categories equivalents a les de la figura 5.7. Aquestes diferències, en fer les simulacions amb MM5 que es presenten al següent capítol, es va veure que són força menors en les zones continentals peninsulars de la regió de treball. Hi ha un clar efecte del mar en les amplituds tèrmiques costaneres. Aquesta menor amplitud tèrmica es tradueix en inèrcies tèrmiques més elevades a la zona litoral, independentment de la categoria, fet que no es contempla en els valors d'inèrcia tèrmica del USGS-24, on els valors s'assignen a cada categoria sense tenir en compte la localització geogràfica. Els resultats per Mas Badia presenten aquesta influència mediterrània, i seria interessant tenir algun resultat de zones més continentals per veure si els valors del USGS-24 s'ajusten a les condicions continentals de la zona de treball.

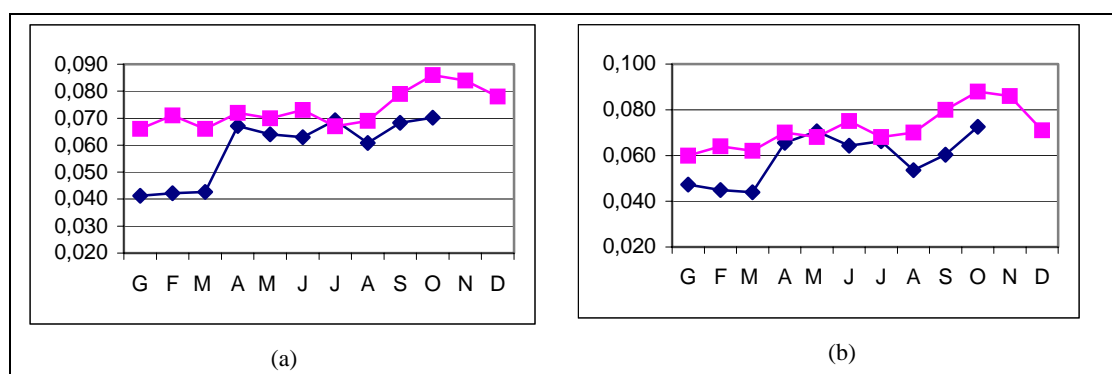


Figura 5.7. Inèrcia tèrmica per als (a) fruiters de regadiu i (b) herbacs de secà de Mas Badia. Valors segons Cunillera (quadrats) i els resultats del AVHRR (rombes).

5.3. Paràmetres de superfície i mapes d'usos del sòl

El model de mesoescala MM5 assigna els paràmetres de superfície a través de les 24 categories del mapa d'usos del sòl global del USGS. Aquesta simplificació en categories introdueix una sèrie d'errors en la caracterització de les condicions de la superfície que cal tenir en compte. En primer lloc, al considerar que la superfície global es pot dividir en 24 categories d'usos del sòl, s'està generalitzant molt, i es perden en gran mesura les particularitats de les categories en els diversos climes mundials. Per altra banda el model només contempla dos períodes anuals, l'estiu i l'hivern, de manera que està simplificant també la variabilitat del cicle anual en dos grans grups, introduint un segon error de caracterització de les condicions de superfície, en aquest cas relacionat amb les variacions segons l'època de l'any.

Per estudiar aquesta problemàtica es plantegen dos objectius:

- Analitzar la validesa de la classificació global USGS-24 per a la regió de treball d'aquest estudi. És a dir, comprovar si les categories són representatives dels usos del sòl de la zona, analitzant l'homogeneïtat interna de cada classe a partir del seu NDVI. Aquesta anàlisi també es realitza per a les categories del mapa d'usos del sòl CORINE, el qual s'ha utilitzat en el capítol 6 per intentar millorar la caracterització de les condicions de superfície que fa el model. Aquests resultats es presenten al subapartat 5.3.1
- Analitzar la idoneïtat d'utilitzar un mapa d'usos del sòl per caracteritzar les condicions físiques de la superfície. En el cas del mapa d'usos del sòl del USGS-24, cada categoria té un NDVI característic, ja que el mapa s'ha originat a partir d'una sèrie anual de NDVI. Ara bé, les categories d'aquest mapa no tenen perquè ser representatives d'altres propietats de la superfície, com per exemple la humitat. En aquest estudi s'ha analitzat concretament la correspondència entre les categories del USGS-24 i les característiques d'inèrcia tèrmica de la regió de treball. Aquests resultats es presenten al subapartat 5.4.2.

5.3.1. Anàlisi de les sèries anuals de diferents paràmetres per les categories dels mapes d'usos del sòl

Per tal d'estudiar el cicle de variació anual de les diverses categories d'usos del sòl i els seus paràmetres de superfície, a continuació es representen gràficament alguns dels cicles anuals de les taules de resultats del capítol 4. Les sèries anuals es representen amb "boxplots", gràfics que permeten estudiar la dispersió de les dades que conformen cada categoria i que aporten informació sobre la homogeneïtat interna de les categories d'usos del sòl estudiades (vegeu el quadre 5.1 per a més detalls). Cal recordar que per calcular els paràmetres de l'àrea de treball es va fer servir un conjunt de mostres per a cada categoria (vegeu el subapartat 4.6.1 de capítol 4) i que, per tant, es pot estudiar la distribució de la població de mostres de cada categoria a través d'aquest tipus de gràfics.

5.3.1.1. Sèries anuals de NDVI per a les categories del USGS-24

A la figura 5.8 es presenten els boxplot de les sèries anuals de NDVI per a diverses categories del USGS-24.

La categoria urbana hauria de ser la més constant al llarg de l'any, però presenta una certa estacionalitat, fruit de la "contaminació verda" que pateix.

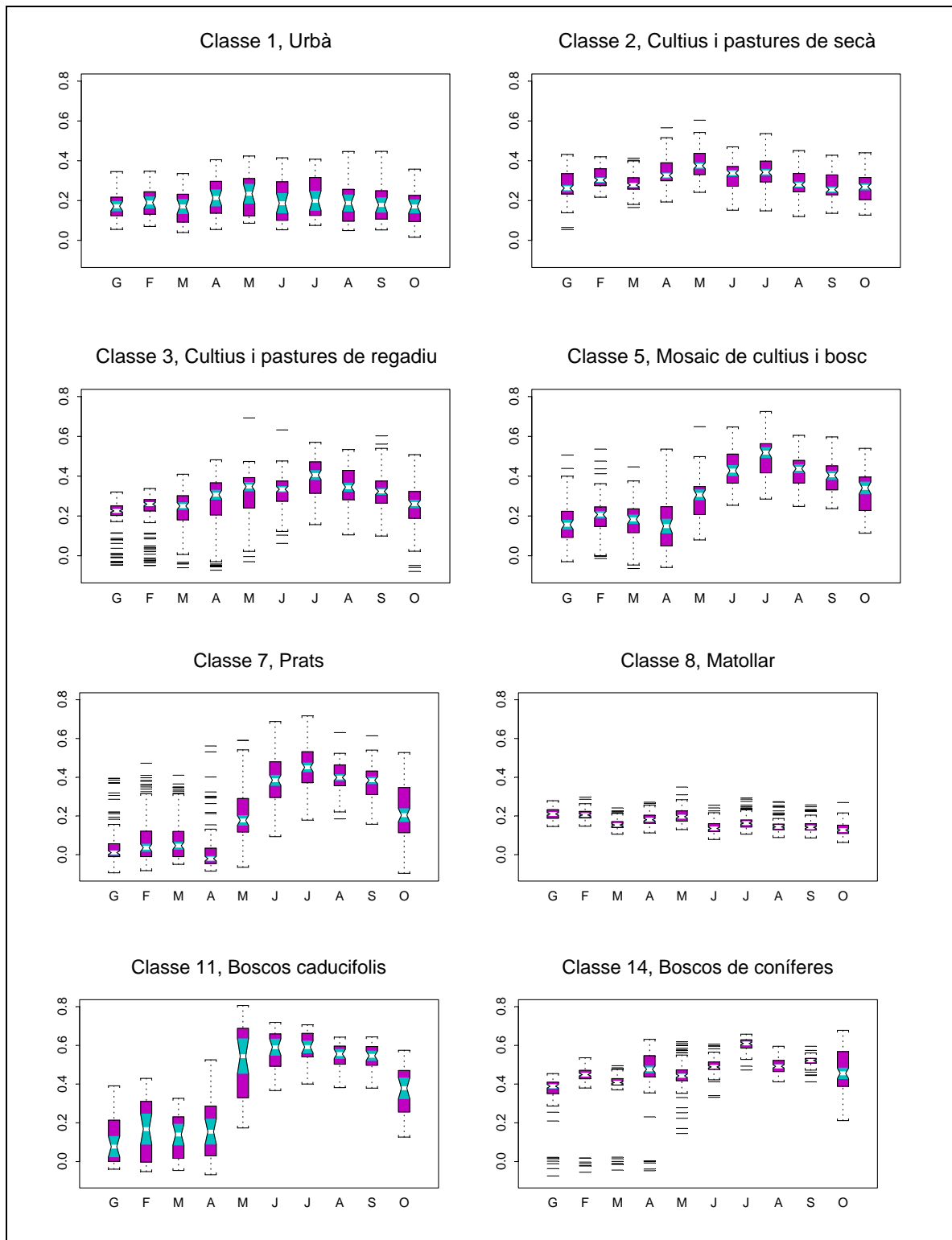


Figura 5.8.Boxplot de les sèries anuals de NDVI per vàries categories del USGS-24.

Les IQD dels diferents mesos també són elevades, indicant que la categoria no és tot l'homogènia que hauria de ser, ja que està incloent zones urbanes de diferents “densitats” que contenen vegetació. La classe matollar és més constant al llarg de la sèrie i homogènia que no pas la urbana, amb unes IQD molt baixes. El NDVI és gairebé constant durant tot l'any, amb valors al voltant de 0,20 valor que teòricament és el que separa les zones amb vegetació de les que no en tenen. De fet, en la determinació de la corba de

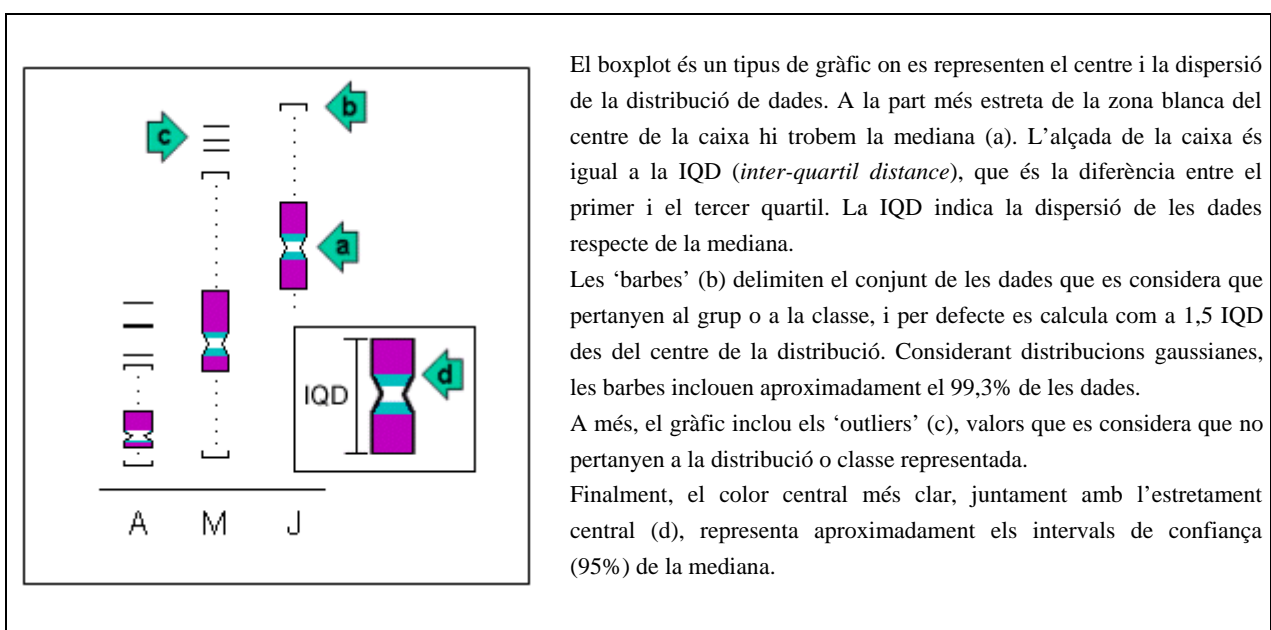
sòls de la regió de treball feta dins del projecte IMPACTE (Jorge i Pineda, 2002) s’ha comprovat que el valor de NDVI que delimita la presència de vegetació és de 0,15. Per tant, aquesta categoria té poca vegetació, motiu pel qual es manté força constant al llarg de l’any.

Pel que respecta les categories agrícoles, l’estacionalitat no és massa marcada; encara que es pot observar que pel que fa al regadiu l’increment de NDVI es produeix més tard. En el secà els màxims de verdor són a l’abril i al maig, mentre que al regadiu els màxims de verdor es desplacen fins al juliol. Són categories que en altres llocs del món segurament són més homogènies, ja que hi ha grans extensions monoespecífiques, però a la zona mediterrània els conreus acostumen a estar força fragmentats i diversificats, i aquestes categories són un “calaix de sastre”, barreja que és més acusada a la classe de regadiu ja que hi ha més *outliers* i els IQD són majors.

La classe 7 és la que presenta una estacionalitat més marcada, amb valors molt baixos de NDVI a l’hivern, deguts a la neu. En aquests mesos d’hivern hi ha molts *outliers*, que indiquen la presència de dues subcategories, una coberta de neu que engloba la majoria de les mostres, i una segona on no hi ha neu a l’hivern, representada per els outliers que tenen un NDVI similar al que té la categoria a finals d’estiu.

El bosc caducifoli també té una estacionalitat molt marcada. Les elevades IQD de l’hivern i principis de primavera indiquen que la categoria no és massa homogènia, havent-hi una barreja de zones amb neu i zones sense neu, que no arriba a ser prou forta com perquè es generin *outliers*. En el bosc de coníferes els *outliers* de l’hivern denoten la presència de neu en una petita fracció de la categoria mentre que en la resta de mesos la categoria es bastant homogènia.

Quadre 5.1. Elements d’un “boxplot”



5.3.1.2. Sèries anuals de NDVI per les classes del CORINE

A la figura 5.9 es presenten les sèries anuals de NDVI per a 8 classes del CORINE. El mapa d'usos del sòl CORINE presenta més zones urbanes que no pas el USGS-24, però això no introdueix massa canvis en l'evolució anual d'aquesta classe, que és molt similar a la mateixa classe USGS-24, amb una lleugera pujada de NDVI a la primavera. Presenta, però, més *outliers* que l'urbà del USGS-24, segurament perquè inclou zones urbanes de dimensions més reduïdes, més susceptibles de veure's "contaminades" per les petites variacions geomètriques que es donen en la correcció geomètrica. La classe de teixit urbà discontinu, que no era present al USGS-24, presenta uns NDVI més elevats que la categoria urbana, per la vegetació present en aquesta classe, que potser a nivell dels usos del sòl és una classe consistent, però que a nivell de signatura espectral és una classe de barreja.

Els conreus de regadiu del CORINE no difereixen massa de la categoria equivalent del USGS-24 (vegeu figura 5.8), amb una pujada de NDVI per a la primavera i l'estiu. Així com les categories 12 i 13 del CORINE corresponen a diversos conreus i són força extenses, la categoria 14 del CORINE és monoespecífica i puntual geogràficament, ja que només es dona al Delta de l'Ebre i correspon als arrossars que s'hi conreen, els quals queden molt ben caracteritzats en el cicle anual. El NDVI fins al maig està al límit del llindar de presència de vegetació (NDVI de 0,15), època on els camps estan primer secs (d'octubre a gener) i després inundats (de març a maig). De maig a juliol es produeix un pronunciat augment del NDVI, època on es produeix la sembra i el creixement vegetatiu de l'arròs. La maduració i assecament de l'agost, així com la posterior collita (setembre), en fa disminuir el NDVI, fins als nivells de l'octubre que tornen a correspondre a sòl nu.

La categoria de prats es diferencia de la seva teòricament equivalent en USGS-24 (vegeu figura 5.8) pel comportament en el període hivernal. Així com en els prats del USGS-24 a l'hivern hi domina la neu i els *outliers* són les zones sense neu, en les pastures del CORINE és a l'inrevés, amb les zones nevades com a *outliers*. La categoria és més consistent (menor distància entre barbes) en la categorització del CORINE.

Els boscos planifolis no acaben d'estar ben caracteritzats considerant el NDVI, ja que a l'hivern són massa elevats en l'època on els arbres d'aquests boscos no tenen fulles. En el cicle anual el comportament esperat es dona en una minoria de les mostres, que apareixen com a *outliers*. En aquest sentit el cicle de NDVI de la categoria equivalent en el USGS-24 (vegeu figura 5.8) és correspon millor al comportament teòric d'aquests boscos, ja que encara que les IQD són més elevades, hi ha molts menys *outliers*. El bosc de coníferes presenta un cicle similar al de la categoria equivalent en el USGS-24, amb força *outliers* en els mesos d'hivern on la neu cobreix certes mostres de la categoria encara que per al CORINE els IDQ són majors. Finalment, a la categoria d'espais amb vegetació escassa, s'hi barregen dos senyals diferents. Per una banda les mitjanes són força constants al llarg del cicle, amb un mínim d'augment a l'estiu, relacionat amb el cicle fenològic de la poca vegetació que es suposa a aquesta classe. D'altra banda hi ha una clara diferència en els quartils. De gener a abril, la dispersió és molt més elevada en el quartil inferior, tendència que s'inverteix de juliol a setembre. Aquestes diferències estan indicant la inclusió en la categoria d'un comportament clarament estacional, relacionat amb la neu. Per tant, la classe està "contaminada" de zones cobertes de neu a l'hivern, que a l'estiu tenen més vegetació de la que hauria de correspondre a aquesta categoria.

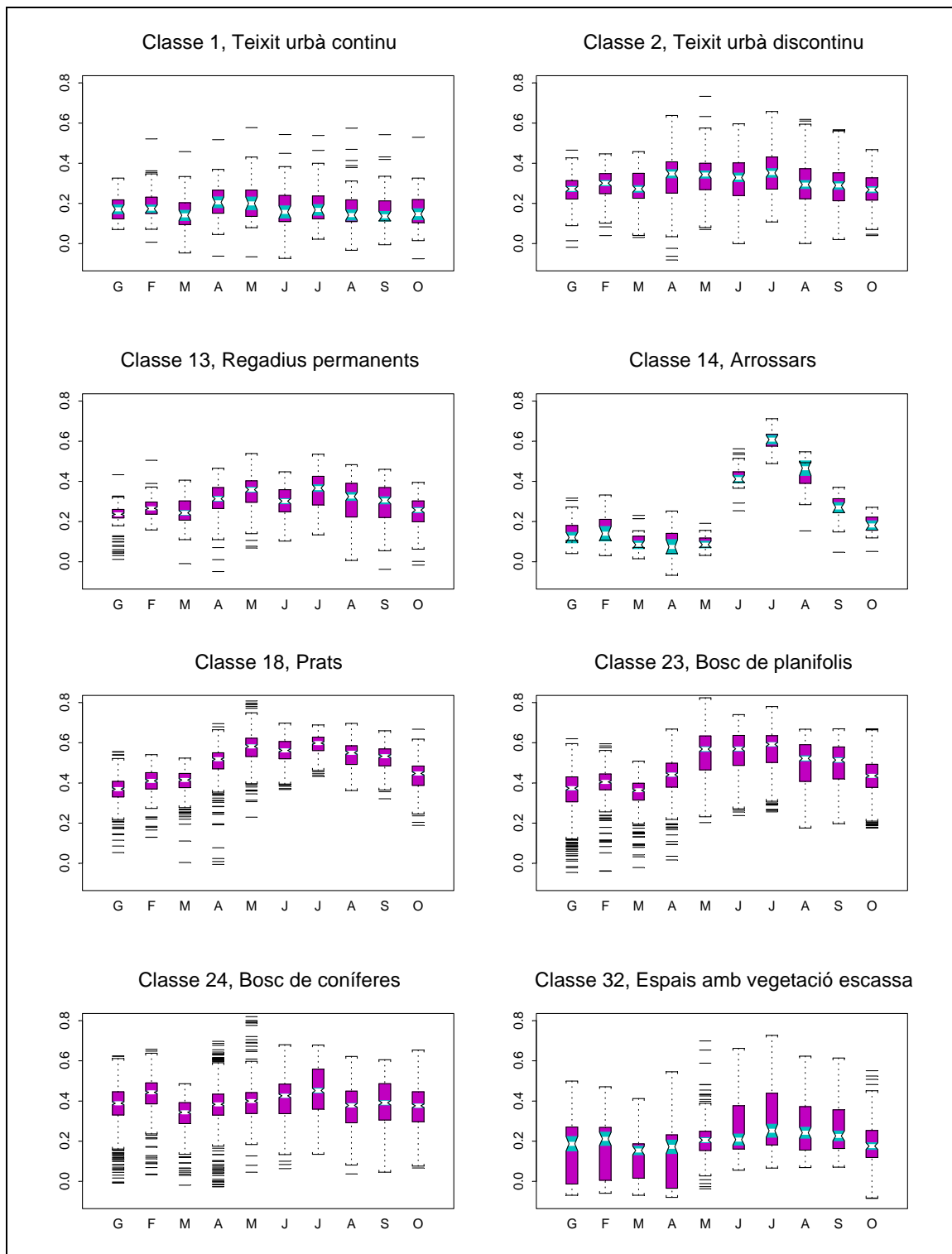


Figura 5.9. Boxplot de les sèries anuals de NDVI AVHRR amb les categories de CORINE.

5.3.1.3. Sèries anuals d'albedo per les classes del USGS-24

A la figura 5.10 es presenten les sèries anuals d'albedo per a 8 classes del USGS-24. En el conjunt de categories de la figura, s'observa com hi ha una important diferència entre els albedos del gener i febrer amb els del març (deixant de banda les categories 7 i 11 on hi ha neu a l'hivern). Així mateix hi ha una baixada a l'abril, amb una posterior recuperació al maig que s'observa en el conjunt de les imatges.

Un dels aspectes que cal tenir en compte en l'estudi de les sèries d'albedo anuals és el de les ombres. Encara que els efectes de les diferents elevacions solars es minimitzen en el procés de normalització de les imatges, les ombres que generen els objectes no es corregeixen i aquestes afecten la reflectivitat. Syren (1994) va detectar com la reflectància de les cobertes de boscos de coníferes disminueix en disminuir l'angle d'elevació solar, tant en el visible com en l'infraroig proper ja que augmenten les ombres, i per tant, en disminueix l'albedo. Aquest efecte es veu al gràfic corresponent de la categoria de boscos de coníferes (cat.14), on l'albedo hauria de ser molt similar en tot el cicle anual i en canvi es veu un increment progressiu amb un màxim al juny, on l'angle solar zenital és el mes baix de tota la sèrie; així com un decrement a partir d'aquest mes.

Ara bé, el salt d'albedo del febrer al març és massa elevat com per ser només causa de la disminució de les ombres. A la figura 5.8 es pot veure com en les categories més invariants al llarg del cicle (cats. 1, 8 i 14), els NDVI del març són inferiors als del gener, febrer i abril. Aquesta observació fa pensar en errors de correcció en les imatges, que queden més dissimulats en el NDVI degut a la normalització que caracteritza aquest índex, però que es fan més evidents a l'albedo.

Entrant en l'anàlisi de les categories presents a la figura 5.10, el que més destaca és la presència de neu, que fa disparar els albedos en diverses categories de gener fins al maig i torna a aparèixer a l'octubre. En algunes classes, com els prats (cat.7) i els boscos de caducifolis (cat.11), la presència de neu en moltes mostres fa que aquesta formi part de la classe, fent que el rang de valors d'albedo que formen la categoria sigui molt elevat, així com la IQD. A nivell estadístic, queda clar que hi ha dues subclasses, però el mapes d'usos del sòl no contemplen la neu (només quan aquesta és permanent) i això es reflecteix en els resultats. Hi ha altres categories on la neu afecta un número reduït de mostres, com és el cas dels boscos de coníferes o la vegetació escassa. En el cas dels boscos de coníferes, aquesta classe té presència en les cotes nevades dels Pirineus, mentre que a la categoria de vegetació escassa, la neu, que només afecta al mes de gener, és la que hi ha a les serres de Gudar i Albarracín.

A la figura 5.11 es presenten els resultats de la separació en dos de la categoria dels boscos de caducifolis, en funció de si les mostres es troben en la zona de neu o no. La zona amb neu té un *boxplot* força dolent, arran de tenir poques mostres, però serveix per mostrar que la neu genera dues subcategories de boscos de caducifolis clarament diferenciades.

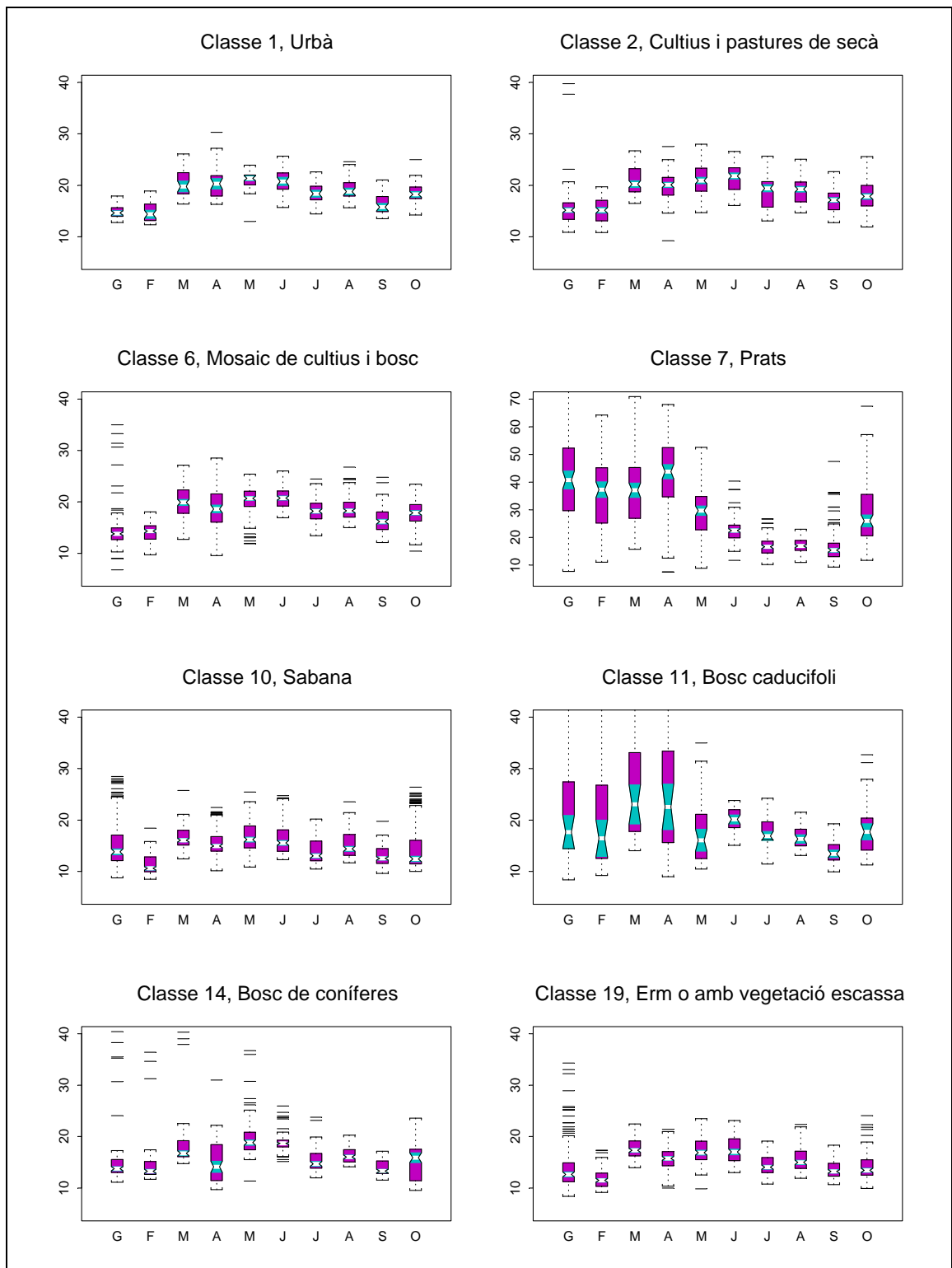


Figura 5.10. Boxplot de les sèries anuals d'albedo AVHRR amb les categories del USGS-24.

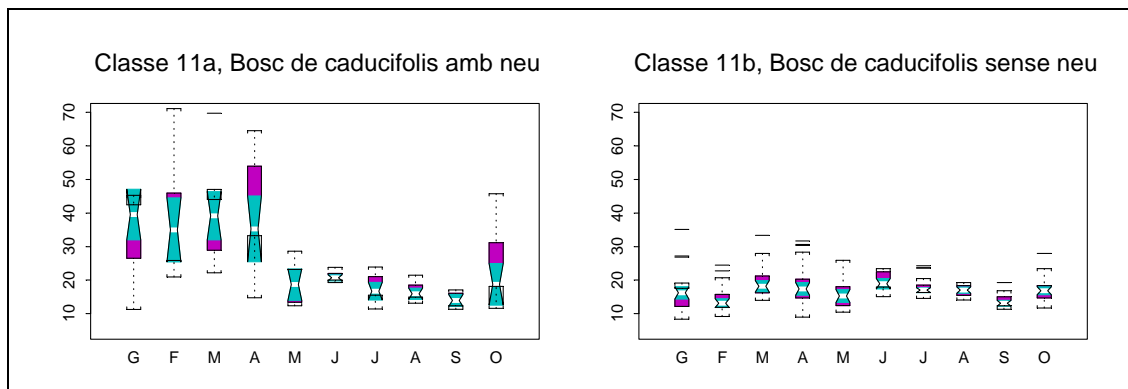


Figura 5.11. Boxplot de les sèries anuals d'albedo AVHRR, per la categoria 11 del USGS-24, separant la subcategoria amb neu (esquerra) de la que no en té (dreta).

5.3.1.4. Sèries anuals d'albedo per les categories del CORINE

A la figura 5.12 es presenten les sèries anuals d'albedo de 8 categories del mapa d'usos del sòl CORINE. La categoria urbana presenta un resultat molt similar a la categoria homònima del USGS-24 (vegeu figura 5.10), amb uns albedos màxims a la primavera que disminueixen progressivament. La categoria dels cultius de secà presenta un comportament similar a la categoria equivalent en el USGS-24, (cultius i pastures de secà). Segons els resultats de Cunillera (1995) aquesta és una de les categories on les variacions d'albedo (deixant de banda la neu) haurien de ser més marcades, ja que la superfície on es desenvolupen aquests cultius canvia molt al llarg del cicle, amb presència i absència total de vegetació. A més, l'albedo és sensible al color, humitat i estat de la superfície, i quan es llauren els camps, aquests tres aspectes del sòl pateixen canvis importants, canvis que s'haurien de reflectir en els valors de l'albedo calculat. Així, Cunillera (1995) estableix un valor màxim d'albedo de 0,27 al gener, valor que va disminuint fins al mínim de 0,16 de juny a novembre. En els cultius de secà del CORINE i del USGS-24, el rang d'albedos i la baixada de l'albedo no són tant pronunciats, i a més la baixada no es produeix fins al mes de juny, com es pot veure a la figura 5.13.

La categoria cultius anuals i permanents del CORINE presenta uns valors d'albedo similars a la categoria de cultius de secà, fet que fa pensar en que les categories de cultius del CORINE estan formades per barreges de cultius amb cicles fenològics diversos, fet que també explicaria el comportament menys marcat de l'albedo de la categoria de cultius de secà respecte dels herbacis de secà del DMA'97.

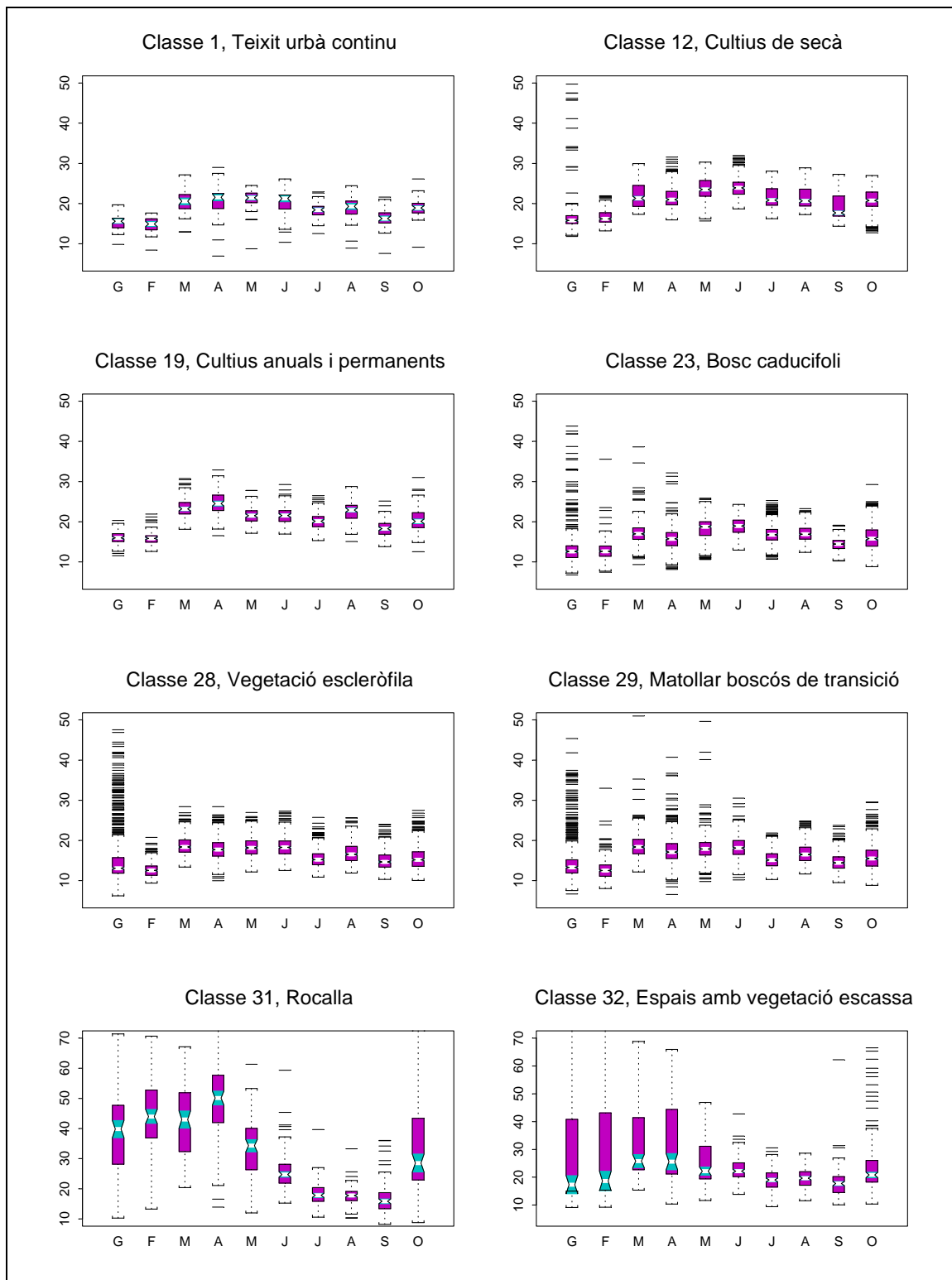


Figura 5.12. Boxplot de les sèries anuals d'albedo AVHRR amb les categories del CORINE.

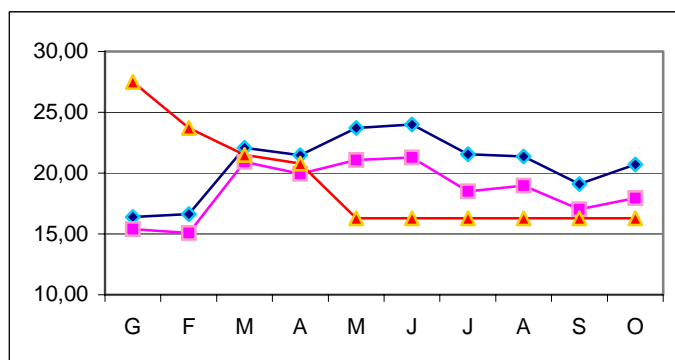


Figura 5.13. Albedos per als cultius de secà. USGS-24 (quadrats), CORINE (rombes) i DMA'97 segons Cunillera (triangles).

Seguint amb l'anàlisi de l'albedo de les categories del CORINE representades a la figura 5.12, respecte de les tres categories forestals (bosc de planifolis, vegetació escleròfila i matollar boscós de transició), cal destacar la similitud que hi ha entre les tres. Les lleugeres diferències entre valors mitjans mensuals de les tres categories es poden veure millor a la figura 5.14. Segons els resultats de Cunillera el bosc de planifolis hauria de presentar valors inferiors als matollars i una pujada a partir de l'abril. Aquesta pujada si que s'observa, malgrat que els valors d'estiu no són inferiors als dels matollars. Tenint en compte els possibles problemes del gener i del febrer, i considerant que els matollars haurien de presentar valors similars durant tot l'any, una de les possibles causes de la pujada progressiva dels valors fins al màxim del juny pot ser la disminució de la reflectància de les cobertes de boscoses en disminuir l'angle d'elevació solar, apreciada per Syren (1994), i que ja s'ha comentat en l'avaluació dels resultats d'albedo de les categories del USGS-24.

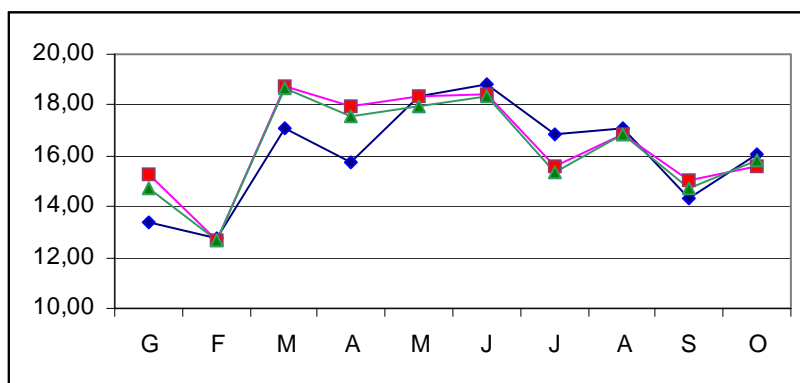


Figura 5.14. Albedo de tres categories forestals del CORINE. Bosc de planifòlis (cat.23) representats amb rombes, Vegetació escleròfila (cat.28) representada amb quadrats i Matollar boscós de transició (cat.29) amb triangles.

Finalment, respecte dels albedos de les rocalles i de la categoria de vegetació escassa de la figura 5.12, destacar que les rocalles es troben bàsicament a les parts altes del Pirineus i per això presenten uns albedos a l'hivern típics de la neu, mentre que la vegetació escassa es veu menys afectada per la neu, i les elevades IQD que presenten indiquen que la categoria conté, com passava amb els prats i els bosc de planifolis (vegeu figura 5.10), una subcategoria afectada per la neu i una altre en cotes on no hi ha neu permanent durant l'hivern.

5.3.1.5. Sèries anuals d'emissivitat per les categories del USGS-24 i del CORINE

Es pot observar a les taules de resultats del capítol 4 com l'emissivitat presenta uns resultats, en quant a les variacions anuals, similars als de l'índex NDVI ja que de fet aquesta se'n deriva directament. No s'inclouen els gràfics dels cicles anuals de variació de l'emissivitat, ja que l'anàlisi de les sèries anuals no difereix massa del ja fet en les sèries de NDVI. La diferència resideix en presentar l'emissivitat una menor variabilitat entre les mostres de cada mes respecte del NDVI. Ara bé, els patrons fenològics que s'observen en els cicles fenològics del NDVI (vegeu figures 5.8 i 5.9) es reproduïxen en els cicles d'emissivitat, amb uns rangs de variació menys marcats.

5.3.1.6. Sèries anuals de la temperatura de la superfície i l'amplitud tèrmica per les categories del USGS-24

A continuació, en les figures 5.15 i 5.16, es representen els cicles anuals de les temperatures de superfície, en la passada d'AVHRR de la tarda i matinada, respectivament, per a quatre categories del USGS-24. A la figura 5.14 es pot observar com la pauta de comportament anual és idèntica en les quatre categories, que es poden considerar força diferents entre si. El que varia són els valors de temperatura assolits, així com la variabilitat interna de les categories. Així per exemple, els mosaics de cultius (cat.5) tenen una variabilitat interna superior a la resta, fet que indica la poca homogeneïtat de la categoria. Per altra banda, les categories amb més vegetació, com la abans citada o la bosc caducifoli (cat.11), assolixen uns valors màxims a l'estiu de ben bé 10 graus menys que les altres dues categories representades a la figura, les categories urbana (cat.1) i matollar (cat.8), que arriben als 40 graus en els mesos d'estiu.

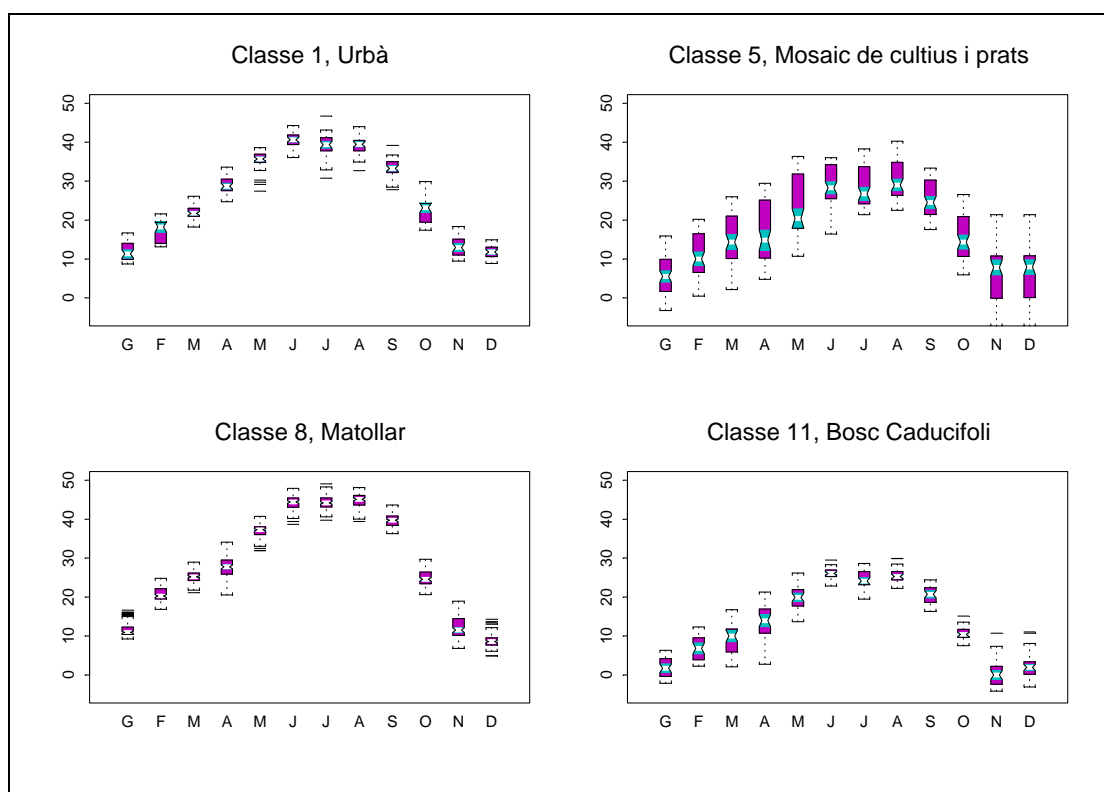


Figura 5.15. Boxplot dels cicles anuals de la TST diürna per a varies categories del USGS-24.

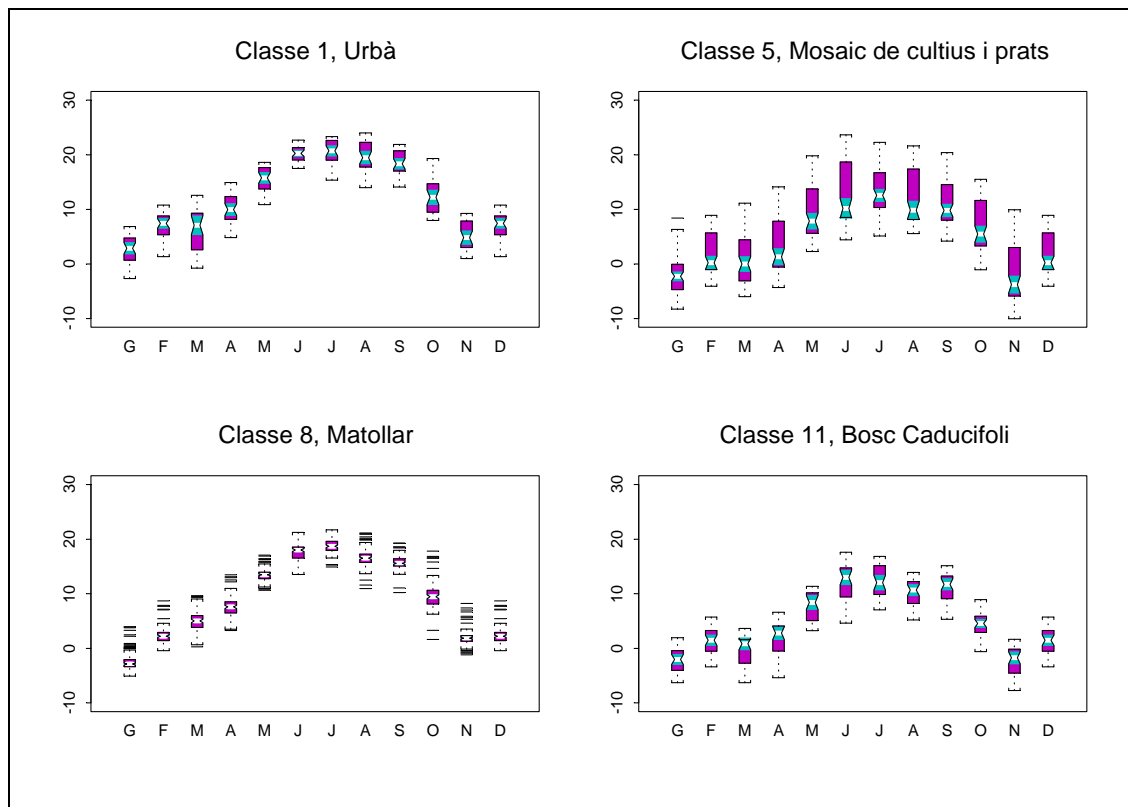


Figura 5.16. Boxplot dels cicles anuals de la TST nocturna per a varies categories del USGS-24.

En les temperatures nocturnes es reproduceix la mateixa pauta de variació anual que es donava amb les temperatures diürnes, amb un màxim als mesos d'estiu i un mínim a l'hivern. Ara bé, en aquest cas els rangs de variació són més reduïts. Això es reflecteix després en les amplituds tèrmiques (representades a la figura 5.17), on els màxims segueixen donant-se als mesos d'estiu, on les diferències entre les temperatures assolides per la superfície entre el dia i la nit són màximes. Així com les diferències entre l'hivern i l'estiu de dia poden assolir més de 30 graus, com per exemple en la categoria 8, les diferències entre hivern i estiu en les nocturnes en aquesta categoria ronden els 20 graus.

A la figura 5.17 es pot observar com aquesta categoria arriba a tenir amplituds tèrmiques de més de 27 graus a l'agost, mes en que presenta valors mitjans de TST de 17°C a la nit i de gairebé 45°C de dia. Cal tenir en compte que es parla de temperatures de superfície, que no són les que es fan servir en meteorologia, ja que aquestes últimes corresponen a la temperatura de l'aire. Les amplituds tèrmiques més baixes es donen en les categories forestals, on la densitat vegetal present fa que la superfície s'escalfi menys de dia i es refredi menys de nit.

5.3.1.7. Sèries anuals d'inèrcia tèrmica per les categories del USGS-24

Per tal d'interpretar els valors de la inèrcia tèrmica, es fa primer una anàlisi dels components que intervenen en el seu càlcul. Si es pensa en l'expressió usada en el càlcul de la inèrcia tèrmica (expressió 3.24), deixant de banda les constants, aquesta té al numerador la inversa de l'albedo i el coeficient de Fourier (A_1), mentre que al denominador té l'amplitud tèrmica. El A_1 (vegeu taula 4.6) té un mínim al desembre/gener i un màxim al juny/juliol, amb un patró de variació sinusoidal anual similar al de l'amplitud tèrmica. Com que el A_1 està al numerador i l'amplitud tèrmica al denominador, el A_1 atenua

les variacions d'amplitud tèrmica. Ara bé, així com el A_1 té un patró de variació perfectament sinusoidal, el patró de l'amplitud té un increment a la primavera i un decrement a la tardor més acusats. A la figura 5.18(a) es presenten les amplituds tèrmiques de dues categories del USGS-24, la urbana (cat.1) i la de bosc de coníferes (cat.14), així com la inèrcia tèrmica calculada amb un albedo constant al llarg de l'any (figura 5.18b), fixat en ambdós casos a 0,15. Es pot observar com els canvis més pronunciats en el cicle de l'amplitud tèrmica de la categoria urbana es tradueixen en el mínim d'inèrcia del mes de març i el màxim de l'octubre. A la categoria forestal, la baixada de l'amplitud tèrmica ja es dona a partir del maig, fet que acaba significat que el màxim de inèrcia tèrmica també s'anticipi respecte del de la categoria urbana, i en aquest cas es doni al juliol.

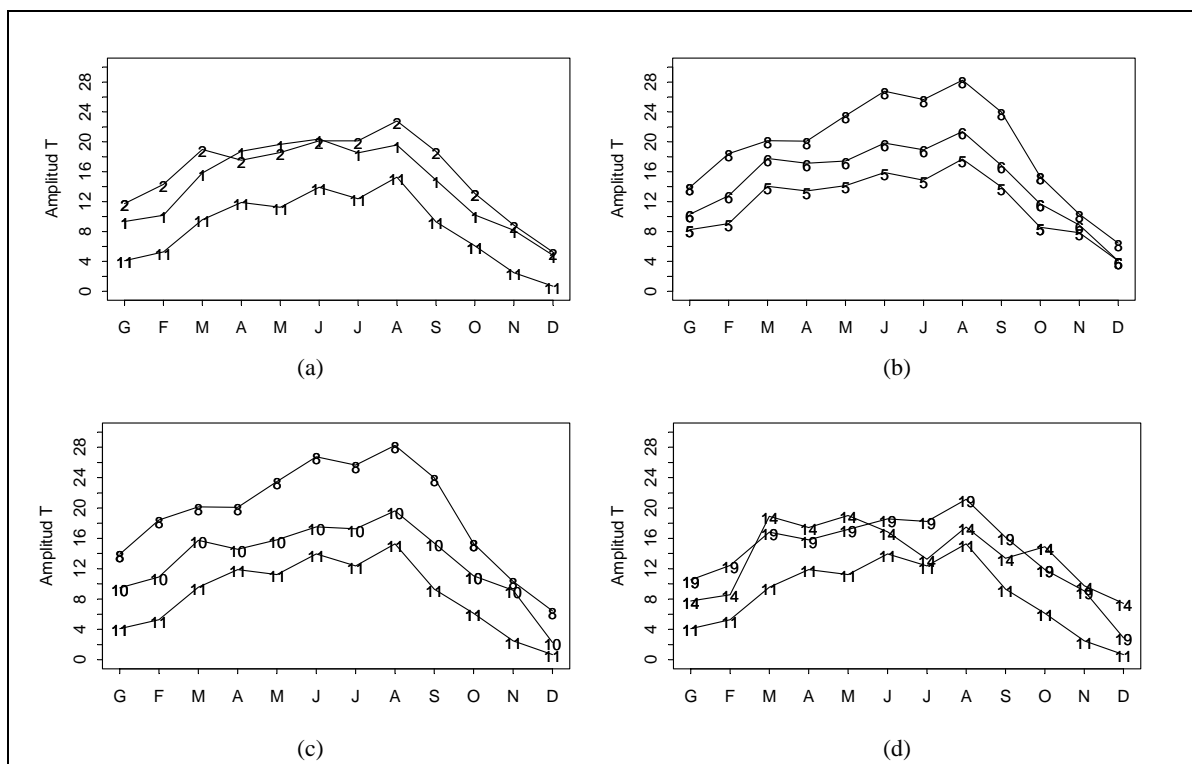


Figura 5.17. Cicles anuals de l'amplitud tèrmica de la superfície terrestre per a vàries categories del USGS-24:

- (a) 1.Urbà, 2.Cultius de secà i 11.Bosc caducifoli
- (b) 5.Mosaic de cultius i prats, 6.Mosaic de cultius i bosc i 8.Matollar,
- (c) 8.Matollar, 10. Sabana i 11. Bosc caducifoli
- (d) 11.Bosc caducifoli, 14.Bosc de coníferes i 19.Àrid o amb vegetació escassa.

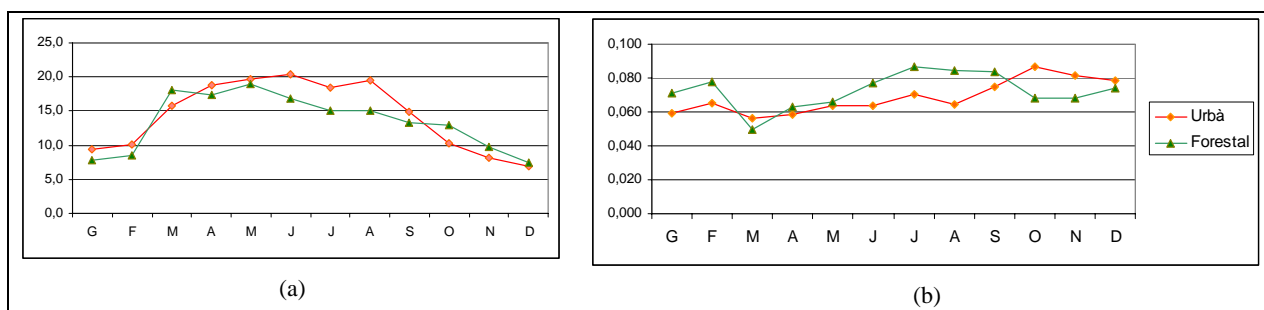


Figura 5.18. (a) Amplitud tèrmica de dues categories del USGS-24, la urbana (cat.1) i la forestal (cat.14:bosc de coníferes), (b) inèrcia tèrmica calculada amb un albedo constant al llarg de l'any fixat en ambdós casos a 0,15.

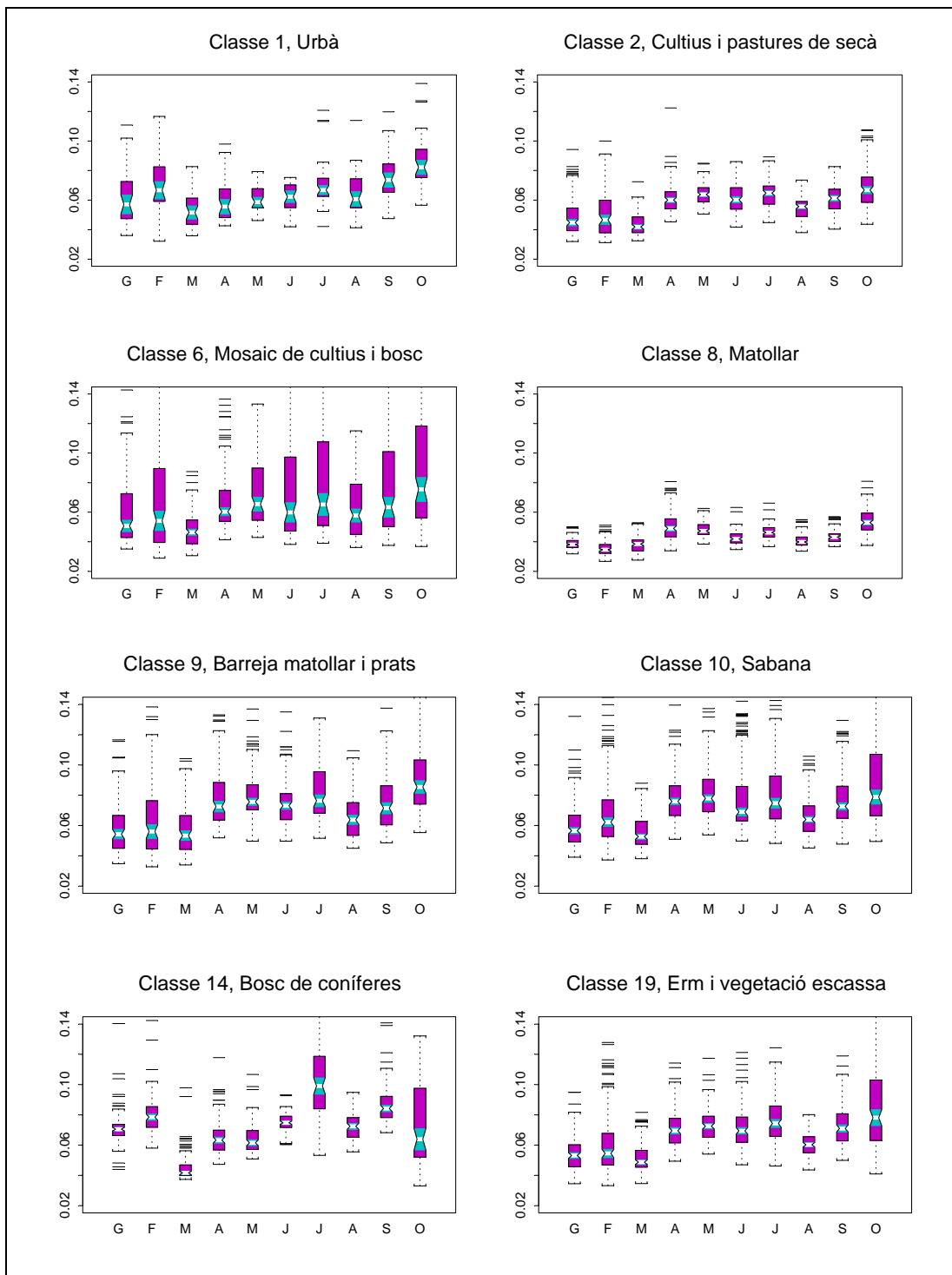


Figura 5.19. Boxplot dels cicles anuals de la inèrcia tèrmica per a vàries categories del USGS-24.

La figura 5.19 presenta les variacions d'inèrcia tèrmica al llarg de l'any 2000. La diferència en l'homogeneïtat de les categories té relació amb la distribució geogràfica de les mateixes. La distribució espacial de l'amplitud tèrmica té més a veure amb la orografia i la distància al mar que no pas amb les categories d'usos del sòl. Aquesta característica es reflecteix als resultats d'inèrcia tèrmica, fent disminuir l'homogeneïtat interna de les categories. La categoria 2 és localitzada principalment a les zones planes continentals, com la vall de l'Ebre o la vall de la Garona, mentre que la categoria 6 té una distribució més dispersa, trobant-se a zones de muntanya, zones costaneres i zones continentals. Això fa que a nivell de

l'amplitud tèrmica aquesta categoria sigui menys homogènia i això es tradueix en els pobres resultats d'homogeneïtat interna de la categoria del mosaic de cultius i bosc pel que respecta la inèrcia tèrmica.

Amb les categories forestals passa el mateix. Així com la categoria de matollar (cat.8) del USGS-24 està concentrada en zones de clima continental (bàsicament a la vall de l'Ebre a l'alçada de Saragossa i a la zona d'Albacete), les categories 9, 10 i 14 tenen una distribució més dispersa, que inclou zones de costa, zones de muntanya i zones continentals. L'homogeneïtat interna del matollar és bona, mentre que és molt menor en les categories 9, 10 i 14 ja que presenten uns rangs d'amplitud tèrmica molt més elevats.

La inèrcia tèrmica de les categories del CORINE (vegeu figura 5.20) presenta els mateixos problemes que els comentats anteriorment per a les categories del USGS-24. En general hi ha molts *outliers* i les IQD són molt elevades. Això indica que les categories no tenen un valor representatiu d'inèrcia tèrmica, ja que la component geogràfica de l'amplitud tèrmica no es correspon amb la distribució geogràfica de la majoria de les categories del mapa d'usos del sòl CORINE.

5.4. Comparació entre mapes d'usos del sòl: USGS-24 i CORINE

Amb la finalitat d'intentar millorar la caracterització de la superfície per part del model de mesoescala MM5, i així millorar la simulació meteorològica que fa el model, en el capítol següent es fa l'exercici de canviar el mapa d'usos del sòl que utilitza el model. Es substitueix el mapa del USGS-24 pel CORINE, ambdós descrits en detall al capítol 2. A continuació s'analitzen les diferències entre els mapes. També es realitza una equivalència entre categories, necessària per assignar valors d'humitat i rugositat a les categories del CORINE, ja que aquests no es poden calcular amb les dades del AVHRR.

5.4.1. Diferències entre els mapes d'usos del sòl en la caracterització de les condicions de la superfície

La incorporació del CORINE en les simulacions de MM5, es fa amb el supòsit que aquesta classificació d'usos del sòl és més adequada per la zona de treball que el mapa USGS-24 que fa servir el model MM5, ja que és un mapa amb una llegenda pensada per Europa i té una bona resolució espacial. Ara bé, el mapa d'usos del sòl CORINE també té una sèrie d'inconvenients a l'hora de caracteritzar les condicions de superfície en un model de mesoescala que cal tenir presents. A continuació s'analitzen els avantatges i els inconvenients d'usar aquest mapa d'usos del sòl.

Avantatges del CORINE

- El CORINE caracteritza millor els usos del sòl de la regió d'estudi d'aquest treball, ja que té major resolució espacial (250 metres en front d'1 km el USGS) i està fet amb més recursos (LANDSAT, SPOT, treball de camp) que no pas el USGS, basat bàsicament en les dades de AVHRR.
- El CORINE té una llegenda pensada pels usos del sòl que es donen a Europa. En canvi la llegenda del USGS de 24 categories està definida a nivell de tota la Terra, i per tant té categories molt genèriques que no sempre tenen sentit en la zona d'estudi. Per exemple, segons el mapa del USGS-24 hi ha sabana en algunes zones del pla de Tarragona. En canvi el CORINE atribueix categories com la de vegetació escleròfila (cat.28), vinya (cat.15) o bosc de coníferes (cat.24), categories que defineixen millor les categories de la regió.

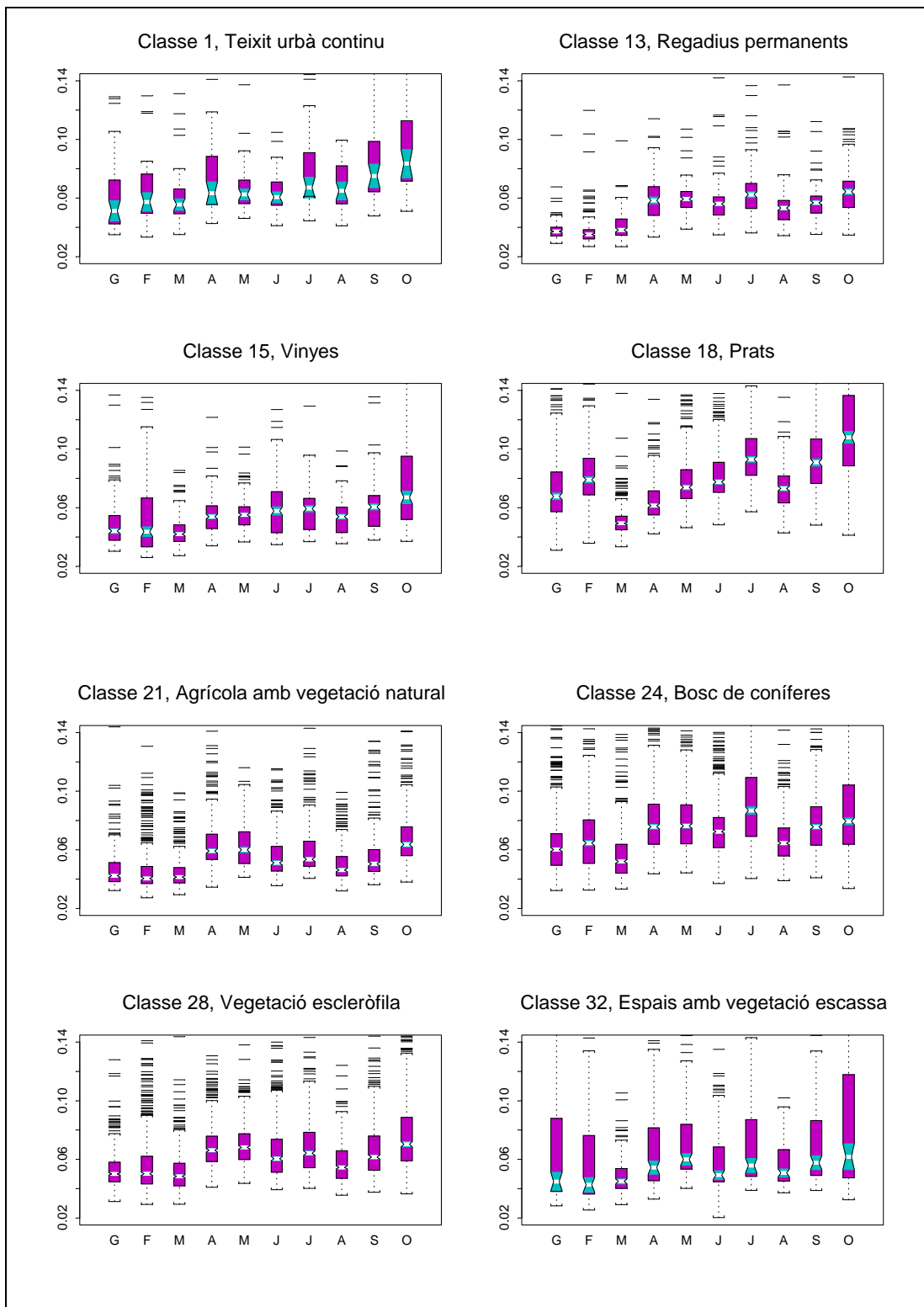


Figura 5.20. Boxplot dels cicles anuals de la inèrcia tèrmica per a varies categories del CORINE.

Inconvenients del CORINE

- Per equiparar resolucions, en el present estudi es va haver de degradar la resolució inicial del CORINE de 250 metres a la resolució del AVHRR, d'un quilòmetre. Aquesta degradació suposa una pèrdua de qualitat, ja que cada quilòmetre quadrat inclou 8 píxels del CORINE original, i el nou píxel pren el valor de la categoria amb major presència espacial, perdent la puresa original.
- Per altra banda, la resolució de treball d'1 km té un altre efecte. La definició de la llegenda d'una classificació està fortament relacionada amb l'escala de treball, ja que les unitats de territori que es poden considerar uniformes o dins d'una mateixa classe varien segons l'escala de treball. Per tant aquesta escala de treball condiciona la llegenda de la classificació, i és possible que categories definides en el CORINE a una escala de 250 metres perdin el sentit en reduir la resolució fins a 1 km.
- La nomenclatura usada al CORINE fa referència a l'ús del sòl que fa l'home, utilització que no sempre es correspon amb un tipus determinat de cobertura del sòl. El senyal que enregistra un satèl·lit correspon a les característiques de cobertura del sòl i no a l'ús que se'n faci. Aquesta diferència, encara que sembli trivial, pot fer que algunes categories del CORINE no tinguin unes característiques ben determinades d'albedo, emissivitat, etc., i per tant no siguin útils per caracteritzar les condicions de superfície, finalitat última del mapa d'usos del sòl dins del model de mesoescala.

Malgrat s'hagin citat més inconvenients que avantatges, el pes dels avantatges citats és superior al pes conjunt dels inconvenients, i s'ha utilitzat aquest mapa en el capítol següent per millorar la definició de les condicions de superfície que fa el model de mesoescala MM5.

5.4.2. Equivalència entre categories USGS-24 i CORINE

5.4.2.1. Distribució espacial de les categories

S'ha fet una matriu de confusió entre categories dels dos mapes, que es presenta a la taula 5.1. S'han agrupat les categories dels mapes en grups més genèrics, ja que la matriu original de 44 x 24 és molt extensa i no és fàcil d'interpretar.

Taula 5.1. Matriu de confusió entre categories dels USGS-24 i del CORINE. Les files corresponen a les categories del CORINE i les columnes a les categories del USGS-24. La última fila/columna correspon al percentatge de presència de la categoria en el conjunt del mapa.

CORINE \ USGS-24	Urbà	Agrícola	Prats	Matollar	Bosc	Altres	%
Urbà	6,0	67,7	0,2	14,7	11,4	0,0	1,7
Agrícola	0,1	73,8	0,0	17,4	8,6	0,0	52,5
Prats	0,0	45,8	5,9	15,5	30,1	2,6	4,4
Matollar	0,0	59,6	0,4	27,1	12,8	0,1	14,7
Bosc	0,0	37,6	0,4	18,9	43,0	0,0	24,6
Altres	0,1	38,3	9,6	31,2	12,9	8,0	2,1
%	0,2	60,8	0,6	19,3	18,8	0,3	

El mapa d'usos del sòl del USGS-24 assigna el 60% de la superfície a categories agrícoles, en front del 52% del CORINE. Per altra banda el CORINE considera que el 25% de la zona de l'estudi correspon a boscos, en front del 19% del USGS-24. Aquestes diferències tenen la seva importància a MM5, ja que les característiques de la superfície d'ambdues categories són força diferents. Per altra banda, només el 43%

de la superfície que és bosc al CORINE també és bosc al USGS-24. La resta de boscos del CORINE són considerats matollar al USGS-24 (19%) o categories agrícoles (38%). Aquesta superfície que a USGS-24 és agrícola i al CORINE és forestal, també serà caracteritzada de manera molt diferent a MM5, caracteritzant de manera força diferent les condicions de superfície d'aquestes zones. La poca coincidència en la categoria urbana es deu a la definició més extensa que es fa al CORINE d'aquesta categoria, fent que la presència de la categoria als mapes sigui força diferent (1,7% al CORINE en front del 0,2% del USGS-24).

5.4.2.2. Equivalència entre les categories del USGS-24 i del CORINE segons el cicle anual de NDVI

Per tal de poder fer simulacions a MM5 amb els paràmetres d'usos de sòl segons les categories del CORINE, cal assignar a cada categoria del CORINE un valor per als 5 paràmetres de superfície que necessita el model MM5. Els valors d'albedo, emissivitat i inèrcia tèrmica s'han extret dels resultats obtinguts amb les imatges AVHRR, però no es disposa de valors d'humitat i de rugositat per les categories del CORINE. Aquestes dades s'han agafat de les categories del USGS-24, assignant a cada categoria del CORINE el valor d'humitat i rugositat de la categoria més similar del USGS-24. L'equivalència entre categories s'ha fet a partir dels cicles anuals de l'índex NDVI del SPOT-VGT. L'índex de vegetació NDVI és la variable més adient de les que es disposava per fer aquesta equivalència de rugositat i humitat entre les categories dels dos mapes d'usos del sòl, ja que es pot assumir que la rugositat de superfície està relacionada directament amb la cobertura vegetal de la superfície (Sellers *et al.*, 1995) i que hi ha una estreta relació entre el NDVI i la humitat del sòl (Gilles i Carlson 1995). Encara que es podrien haver usat les dades de NDVI del AVHRR, aquestes només haurien suposat sèries anuals de 10 imatges (les imatges de novembre i desembre es van desestimar per problemes de qualitat), mentre que amb les imatges VGT es disposava de sèries anuals de 36 imatges (una sintètica cada 10 dies).

Es va fer servir un estadístic força simple, el definit per Gower (1971), per comparar les sèries anuals de NDVI entre les categories dels dos mapes d'usos del sòl. L'equivalència entre categories es mostra a la taula 5.2. Quant menor és el valor de l'estadístic de Gower, més similars són les corbes d'evolució anual de NDVI i més similars són les categories. Hi ha categories on no s'ha calculat el Gower respecte de les categories de l'altre mapa d'usos de sòl, ja que l'equivalència entre categories és òbvia i aquesta s'ha fet directament.

En les següents tres figures es presenten sèries anuals de NDVI d'una mostra del conjunt de categories dels dos mapes d'usos del sòl. Estan ordenades en categories agrícoles (vegeu figura 5.21), categories de boscos (vegeu figura 5.22) i categories de matollar (vegeu figura 5.23). La categoria del CORINE cultius de secà (12) presenta una evolució anual de NDVI similar a la categoria cultius i pastures de secà (102) del USGS-24, però amb valors lleugerament més alts. El mateix passa amb els cultius de regadiu (CORINE 13 i USGS-24 103), però els arrossars (CORINE 14) tenen un patró anual completament diferent de les altres dues classes de conreus. De cara a l'equivalència amb una de les classes del USGS-24, el valor de l'estadístic *gower* és menor en relació als cultius de regadiu (USGS-24 103), amb un *gower* de 21,7, que no pas als cultius i pastures de secà (USGS-24 102), amb un *gower* de 37,8. Així, per als valors de rugositat i humitat dels arrossars (CORINE 14) es van agafar els de la categoria USGS-24 103.

A la figura 5.22 es pot veure una bona equivalència entre els patrons de NDVI de les categories dels boscos de caducifolis dels dos mapes d'usos del sòl (USGS-24 111 i CORINE 23) amb un valor *gower* de 5,7. L'equivalència entre els boscos de coníferes (USGS-24 114 i CORINE 24) és pitjor, sobretot durant la primavera i l'estiu, amb un *gower* anual de 20,4.

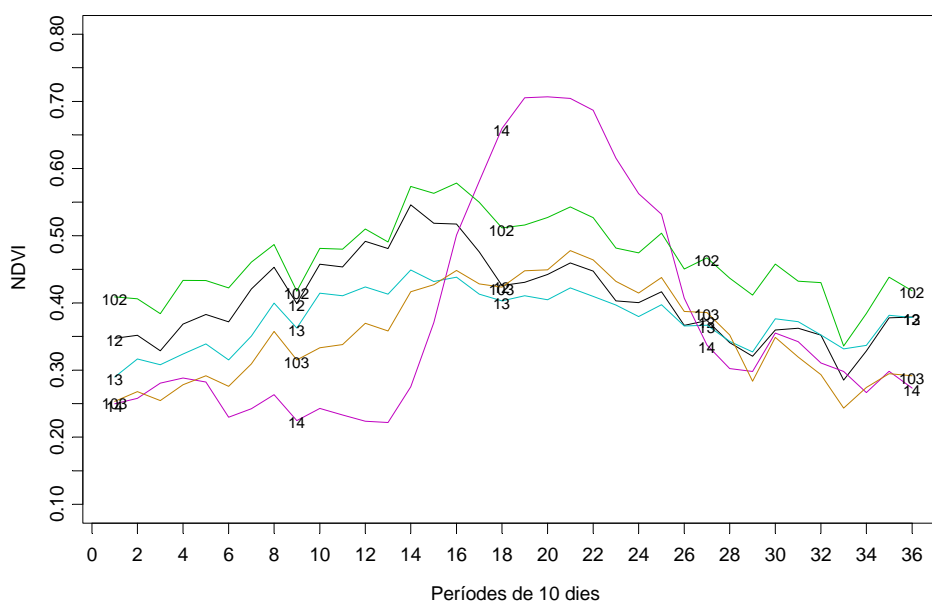


Figura 5.21. Sèries anuals de NDVI per a les categories del USGS-24¹⁶ (102: cultius i pastures de secà i 103: cultius i pastures de regadiu) i del CORINE (12: cultius de secà, 13: regadius permanents i 14: arrossars), per a les 36 imatges S_{10} que conformen el cicle anual de l'any 2000.

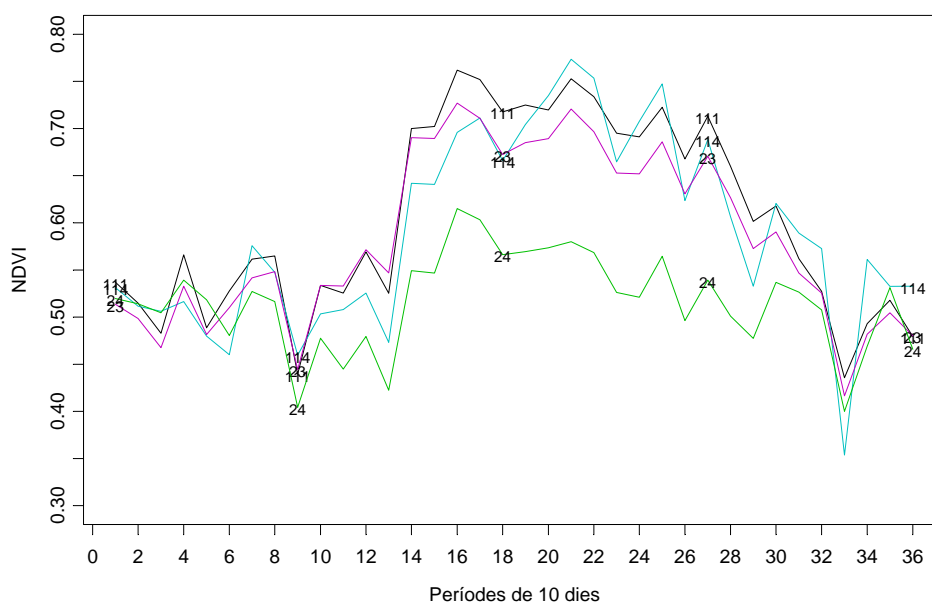


Figura 5.22. Sèries anuals de NDVI per a les categories del USGS-24 (111: bosc caducifoli de fulla planifòlia i 114: bosc de coníferes perennes) i del CORINE (23: bosc de planifolis i 24: bosc de coníferes), per a les 36 imatges S_{10} que conformen el cicle anual de l'any 2000

¹⁶ Els valors de les categories del CORINE corresponen als de la taula 5.2, mentre que als números de categoria del USGS se'ls hi ha sumat un valor de 100 per poder distingir les categories dels dos mapes d'usos del sòl a les gràfiques.

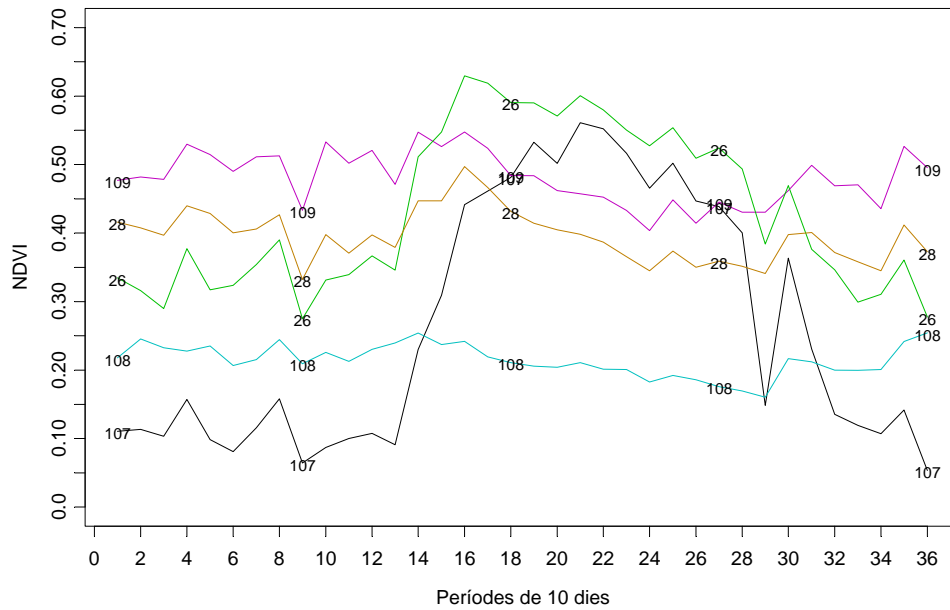


Figura 5.23. Sèries anuals de NDVI per a les categories del USGS-24 (107: prats, 108: matollar, i 109: barreja matollar i prats) i del CORINE (26: pastures naturals i 28: vegetació escleròfila), per a les 36 imatges S_{10} que conformen el cicle anual de l'any 2000

La vegetació escleròfila del CORINE (cat. 28) hauria de correspondre als matollars del USGS-24 (cat. 108) si pensem en els trets morfològics de la vegetació de les dues categories, però segons el *gower* la categoria s'assembla més a la "barreja matollar i prats" del USGS-24 (21,3 per la 109 i 45,3 per la 108) i es van assignar els valors de rugositat i humitat de la USGS-24 109 a la CORINE 28. Per altra banda, els prats del USGS-24 (cat. 107) i les pastures naturals del CORINE (cat. 26) haurien de ser botànicament força similars, però hi ha diferències acusades entre ambdues categories a la tardor i a l'hivern. Aquestes diferències són degudes a la presència de neu, que afecta als prats USGS-24-107, categoria que ocupa zones afectades per les nevades en el mapa d'usos del sòl del USGS-24, però que en mapa del CORINE es troba en estrats de menor altitud i la neu no afecta a les pastures del CORINE (cat.26).

Taula 5.2. Equivalències entre els mapes d'usos del sòl USGS-24 i CORINE, segons l'estadístic Gower (1971)

CORINE	Categoria	USGS-24	Categoria	GOWER
1-11	Conjunt de les categories urbanes	1	Urbà i zones construïdes	6,2
12	Cultius de secà	2	Cultius i pastures de secà	15,2
13	Regadius permanents	3	Cultius i pastures de regadiu	11,2
14	Arrossars			21,7
15	Vinyes			23,5
16	Fruiters i plantacions de baies	6	Mosaic de cultius i bosc	27
17	Oliveres			15
18	Prats	2	Cultius i pastures de secà	36,1
19	Cultius anuals + cultius permanents			22,6
20	Mosaic de cultius	6	Mosaic de cultius i bosc	33,9
21	Agrícoles amb vegetació natural			24,5
22	Sistemes agroforestals			19
23	Bosc de planifòlis	11	Bosc caducifoli	5,7
24	Bosc de coníferes	14	Bosc de coníferes perennes	20,4
25	Bosc mixt	15	Bosc mixt	4,8
26	Pastures naturals	7	Prats	42
27	Landes i matollars			28,4
28	Vegetació escleròfila	9	Barreja matollar i prats	21,3
29	Matollar boscós de transició			11,5
30	Platges, dunes i arenals			66,4
31	Rocalla	19	Àrid o amb vegetació escassa	55,8
32	Espais amb vegetació escassa			72
33	Zones cremades			113,2
34	Glaceres i neus permanents	24	Neu o gel	-
35-38	Aiguamolls i zones pantanoses, torberes, maresmes i salines	17	Vegetació de zones pantanoses	-
39	Zones planes intermareals			
40-43	Cursos d'aigua, làmines d'aigua, llacunes costaneres i estuaris	16	Cossos d'Aigua	-
44	Mar i oceans			