

Escola Universitària Politècnica de Manresa
Universitat Politècnica de Catalunya

Avaluació amb imatges de satèl·lit
de les propietats físiques del sòl
requerides en models meteorològics

Memòria presentada per Nicolau Pineda i Rüegg
per a optar al grau de Doctor per la Universitat Politècnica de Catalunya

Director: Dr. Joan Jorge Sánchez

Programa de doctorat “Recursos naturals i medi ambient”
Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals

Agraïments

Arribats a aquest punt, m'agradaria donar les gràcies a totes aquelles persones que m'han ajudat, d'una manera o altra, a culminar aquest treball.

Vull expressar el meu agraïment més sincer al Dr. Joan Jorge, director de l'Escola Universitària Politècnica de Manresa, per les hores dedicades a la direcció d'aquesta tesi doctoral, i pel seu recolzament científic i personal. Així mateix, li haig de donar gràcies per la confiança que m'ha dipositat, i per l'ambient de treball que he gaudit els temps que he passat a Manresa.

També vull expressar el meu agraïment al Dr. José M. Baldasano, catedràtic en enginyeria ambiental a la Universitat Politècnica de Catalunya, per haver-me acollit en el seu grup de treball i haver-me ajudat en moments difícils. En aquest període vaig tenir la sort de col·laborar amb el doctorand Oriol Jorba. La part final d'aquest treball va ser possible gràcies als seus coneixements del model meteorològic MM5 i li estic molt agraït.

He d'agrair el suport donat per les diverses institucions que han proporcionat les dades necessàries per realitzar aquest treball: CREPAD, AUC, VITO, EEA, DMAH i SMC. He tingut la sort de trobar sempre uns interlocutors disposats a ajudar-me i que m'han facilitat molt la feina. Quería dar las gracias a Juana Santana, Angel García y M^a Angeles Dominguez (CREPAD) por su buen quehacer. I would also like to thank Marion Schroedter (AUC) for her help. També vull donar les gràcies al Dr. Jordi Cunillera, cap de recerca del SMC. La caracterització agroclimàtica de Catalunya que va fer en la seva tesi doctoral ha estat un ajut inestimable a l'hora de validar els resultats obtinguts.

També he de donar les gràcies a tots els investigadors que m'han fet arribar articles i m'han solucionat dubtes. En especial, vull agrair l'ajuda dels doctors Enric Valor i José A. Sobrino de la Universitat de València. Je voudrais aussi remercier Gérard Dedieu (CESBIO Toulouse) pour m'avoir aidé avec le code SMAC.

Aquest treball ha estat parcialment subvencionat pel projecte IMMPACTE (conveni entre la UPC, el DURSI i la CIRIT).

Finalment, però no per això menys important, he d'agrair l'ajuda i la paciència de la meva família, que generosament m'ha cedit un munt d'hores que els hi eren destinades.

Dedico aquesta tesi a la memòria del meu pare.

Índex

| | |
|---|----|
| CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ..... | 14 |
| 1.1. La teledetecció en l'estudi de la superfície terrestre..... | 14 |
| 1.2. Estimació de paràmetres de superfície amb teledetecció | 14 |
| 1.2.1. Les imatges satel·litàries de síntesi..... | 4 |
| 1.3. Els paràmetres geofísics en els models meteorològics..... | 5 |
| 1.3.1. Paràmetres de superfície en els models meteorològics | 5 |
| 1.3.1.1. Albedo | 5 |
| 1.3.1.2. Emissivitat | 6 |
| 1.3.1.3. Humitat..... | 6 |
| 1.3.1.4. Inèrcia tèrmica..... | 6 |
| 1.3.1.5. Rugositat..... | 6 |
| 1.4. Presentació de l'estudi..... | 6 |
| 1.4.1. Motivacions..... | 6 |
| 1.4.2. Objectius..... | 7 |
| 1.4.3. Estructura del document..... | 8 |
| | |
| CAPÍTOL 2. MATERIALS | 11 |
| 2.1. Zona de l'estudi..... | 11 |
| 2.2. Plataformes i sensors | 13 |
| 2.2.1. Sèrie NOAA | 13 |
| 2.2.1.1. Sensor AVHRR | 13 |
| 2.2.1.2. Sensor TOVS..... | 14 |
| 2.2.2. SPOT-VEGETATION | 14 |
| 2.3. Dades..... | 15 |
| 2.3.1. Imatges satel·litàries | 15 |
| 2.3.1.1. Dades AVHRR | 15 |
| 2.3.1.2. Dades TOVS..... | 16 |
| 2.3.1.3. Dades SPOT-VGT..... | 16 |
| 2.3.2. Dades d'observacions en superfície | 17 |
| 2.3.2.1. Dades d'aerosols..... | 17 |
| 2.3.3. Cartografia temàtica | 18 |
| 2.3.3.1. Mapa d'usos del sòl USGS-24 | 18 |
| 2.3.3.2. Mapa d'usos del sòl CORINE..... | 20 |
| 2.3.3.3. Mapa d'usos del sòl del Departament de Medi Ambient | 21 |
| 2.4. Programari..... | 24 |
| | |
| CAPÍTOL 3. REVISIÓ METODOLÒGICA | 25 |
| 3.1. Fonaments | 25 |
| 3.1.1. Reflectivitat de les superfícies naturals | 25 |
| 3.1.1.1. De les signatures espectrals a la reflectivitat de les cobertes..... | 26 |
| 3.1.2. Interacció de la radiació amb la superfície terrestre | 27 |
| 3.1.3. Dependències angulars de la reflectivitat | 28 |
| 3.1.3.1. Dependències angulars de l'albedo de superfície..... | 29 |
| 3.1.4. Correcció angular segons la funció de distribució de la reflectivitat..... | 30 |
| 3.1.4.1. Correcció automàtica de la BRDF al CCRS..... | 31 |
| 3.2. Correccions de les imatges AVHRR | 32 |
| 3.2.1. Remostreig i correcció geomètrica..... | 32 |
| 3.2.2. Calibració radiomètrica | 32 |
| 3.2.2.1. Calibració radiomètrica canals visible i infraroig proper del AVHRR | 32 |
| 3.2.2.2. Calibració radiomètrica dels canals tèrmics | 35 |
| 3.2.3. Correcció atmosfèrica dels canals del visible i l'infraroig proper del AVHRR | 36 |
| 3.2.3.1. Processos d'absorció | 38 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.3.2. Processos de dispersió | 39 |
| 3.2.3.3. Estimació indirecta d'aerosols amb dades AVHRR..... | 40 |
| 3.2.3.4. Estimació d'aerosols amb dades d'altres satèl·lits..... | 41 |
| 3.2.4. Algorismes de correcció atmosfèrica | 41 |
| 3.2.4.1. Algorismes 5S i 6S | 42 |
| 3.2.4.2. Algorisme SMAC..... | 42 |
| 3.2.4.3. El model de Koepke | 42 |
| 3.2.5. Correcció atmosfèrica en el tèrmic, canals 4 i 5 del AVHRR..... | 44 |
| 3.2.6. Eliminació de la contaminació de les imatges deguda als núvols | 44 |
| 3.2.6.1. Emmascarament de núvols | 44 |
| 3.2.6.2. Imatges composades..... | 46 |
| 3.2.6.3. Detecció de contaminació residual i reconstrucció de sèries temporals..... | 48 |
| 3.2.6.4. Seqüències animades de sèries temporals | 49 |
| 3.3. Paràmetres de superfície..... | 50 |
| 3.3.1. Albedo | 51 |
| 3.3.1.1. Estimació de l'albedo inherent de superfície amb dades AVHRR..... | 52 |
| 3.3.2. NDVI..... | 54 |
| 3.3.3. Emissivitat | 55 |
| 3.3.3.1. Emissivitat i Temperatura..... | 56 |
| 3.3.3.2. Estimació de l'emissivitat..... | 56 |
| 3.3.4. Temperatura de la superfície terrestre | 59 |
| 3.3.4.1. Tècnica Split-window per a AVHRR..... | 59 |
| 3.3.5. Inèrcia Tèrmica..... | 60 |
| 3.3.5.1. Estimació de la inèrcia tèrmica amb AVHRR..... | 61 |
| 3.3.6. Humitat del sol | 63 |
| 3.3.6.1. El mètode del Triangle | 63 |
| 3.3.7. Rugositat..... | 66 |
| CAPITOL 4. PROCESSAMENT I RESULTATS..... | 67 |
| 4.1. Preprocessament de les imatges AVHRR | 67 |
| 4.1.1. Calibració radiomètrica | 68 |
| 4.1.2. Correcció geomètrica | 68 |
| 4.2. Processament de les imatges AVHRR | 68 |
| 4.2.1. Càlcul de reflectància | 68 |
| 4.2.1.1. Efectes de l'angle solar..... | 69 |
| 4.2.2. Correcció atmosfèrica dels canals del visible i del NIR..... | 69 |
| 4.2.2.1. Dades atmosfèriques..... | 70 |
| 4.2.3. Correcció atmosfèrica dels canals tèrmics | 72 |
| 4.3. Imatges de síntesi mensuals | 72 |
| 4.3.1. Màscara de núvols | 73 |
| 4.3.2. Imatges de síntesi mensuals | 75 |
| 4.3.2.1. Imatges de síntesi mensuals a partir d'imatges amb filtrat de núvols | 76 |
| 4.3.2.2. Reconstrucció de sèries temporals..... | 77 |
| 4.4. Càlcul de paràmetres de superfície..... | 77 |
| 4.4.1. Limitacions de les imatges AVHRR | 77 |
| 4.4.2. Albedo en superfície..... | 79 |
| 4.4.2.1. Comparativa entre diferents formulacions per al càlcul de l'albedo | 79 |
| 4.4.3. Emissivitat..... | 82 |
| 4.4.3.1. Càlcul de l'índex de vegetació normalitzat NDVI | 83 |
| 4.4.3.2. Càlcul de l'emissivitat | 83 |
| 4.4.4. Temperatura de Superfície | 85 |
| 4.4.5. Inèrcia Tèrmica..... | 87 |
| 4.5. Paràmetres de superfície per a les categories dels mapes d'usos del sòl..... | 88 |
| 4.5.1. Mostreig | 89 |
| 4.5.2. Paràmetres de superfície per les categories dels mapes d'usos del sòl..... | 90 |
| 4.5.2.1. Resultats per al mapa d'usos del sòl USGS-24 | 90 |
| 4.5.2.2. Resultats per al mapa d'usos del sòl CORINE..... | 93 |

| | |
|--|---------|
| CAPITOL 5. DISCUSSIÓ DE RESULTATS..... | 99 |
| 5.1. Estudi de les correccions realitzades a les imatges AVHRR..... | 99 |
| 5.1.1. Correcció geomètrica | 99 |
| 5.1.2. Correcció d'il·luminació i atmosfèrica | 100 |
| 5.1.2.1. Efectes de les mancances en la correcció de la il·luminació | 100 |
| 5.1.2.2. Efectes de la correcció atmosfèrica en els resultats d'albedo..... | 101 |
| 5.2. Validació dels paràmetres de superfície obtinguts | 102 |
| 5.2.1. Validació del NDVI amb dades SPOT-VGT | 103 |
| 5.2.2. Validació dels resultats d'albedo..... | 105 |
| 5.2.3. Validació dels resultats d'emissivitat | 107 |
| 5.2.4. Validació dels resultats d'inèrcia tèrmica..... | 109 |
| 5.3. Paràmetres de superfície i mapes d'usos del sòl | 110 |
| 5.3.1. Anàlisi de les sèries anuals per les categories dels mapes d'usos del sòl..... | 110 |
| 5.3.1.1. Sèries anuals de NDVI per a les categories del USGS-24 | 110 |
| 5.3.1.2. Sèries anuals de NDVI per les classes del CORINE | 113 |
| 5.3.1.3. Sèries anuals d'albedo per les classes del USGS-24 | 115 |
| 5.3.1.4. Sèries anuals d'albedo per les categories del CORINE..... | 117 |
| 5.3.1.5. Sèries anuals d'emissivitat per les categories del USGS-24 i del CORINE..... | 120 |
| 5.3.1.6. Sèries anuals de la temperatura i l'amplitud tèrmica per les categories del USGS-24.... | 120 |
| 5.3.1.7. Sèries anuals d'inèrcia tèrmica per les categories del USGS-24..... | 121 |
| 5.4. Comparació entre mapes d'usos del sòl: USGS-24 i CORINE..... | 124 |
| 5.4.1. Diferències entre els mapes d'usos del sòl en la caracterització de la superfície..... | 124 |
| 5.4.2. Equivalència entre categories USGS-24 i CORINE..... | 126 |
| 5.4.2.1. Distribució espacial de les categories | 126 |
| 5.4.2.2. Equivalència entre les categories del USGS-24 i del CORINE segons el NDVI..... | 127 |
| CAPÍTOL 6. MODELITZACIÓ METEOROLÒGICA..... | 131 |
| 6.1. Meteorologia i qualitat de l'aire | 131 |
| 6.1.1. Els paràmetres de superfície en els models meteorològics de mesoescala..... | 132 |
| 6.2. Breu descripció dels models meteorològics de mesoescala | 133 |
| 6.3. Model de mesoescala MM5 | 134 |
| 6.3.1. Configuració de la regió de treball | 135 |
| 6.3.2. Dades d'inicialització i d'entorn | 135 |
| 6.3.3. Mòdul TERRAIN | 136 |
| 6.4. Simulacions amb MM5 | 137 |
| 6.4.1. Configuració de les dues simulacions | 137 |
| 6.4.1.1. Configuració de la zona d'estudi..... | 137 |
| 6.4.1.2. Parametrització i inicialització | 137 |
| 6.4.1.3. Situació meteorològica del dia simulat..... | 138 |
| 6.4.1.4. Configuració del mapa d'usos del sòl | 139 |
| 6.4.1.5. Variacions dels paràmetres entre les dues configuracions | 141 |
| 6.4.2. Comparativa entre els resultats de les dues simulacions | 146 |
| 6.4.2.1. Diferències generals en les variables meteorològiques | 146 |
| 6.4.2.2. Diferències locals en les variables meteorològiques | 147 |
| 6.5. Conclusions de la simulació | 154 |
| CONCLUSIONS | 157 |
| REFERÈNCIES | 161 |
| ADRECES D'INTERNET | 170 |
| ACRÒNIMS | 172 |

Índex de Taules i Quadres

| | |
|--|-----|
| Taula 1.1. Aplicacions dels paràmetres geofísics de superfície. | 2 |
| Quadre 1.1. Projecte IMPACTE | 10 |
| Taula 2.1. Imatges AVHRR diürnes sol·licitades al CREPAD | 19 |
| Taula 2.2. Imatges AVHRR nocturnes sol·licitades al CREPAD | 20 |
| Taula 2.3. Categories del USGS-24 i percentatge de presència a la regió d'estudi. | 21 |
| Taula 2.4. Categories del CORINE a l'àrea d'estudi. | 22 |
| Taula 2.5. Mapa d'usos del sòl del DMA'97. | 24 |
| Taula 3.1. Valors centrals del número d'ona per les bandes 3, 4 i 5 de AVHRR..... | 36 |
| Taula 3.2. Resum de les magnituds dels efectes atmosfèrics sobre els canals AVHRR 1, 2 i NDVI. | 39 |
| Taula 3.3. Albedos de diverses superfícies. | 52 |
| Taula 3.4. Coeficients pel càlcul de l'albedo segons diversos autors..... | 53 |
| Taula 3.5. Emissivitats de diferents materials i cobertures terrestres..... | 56 |
| Taula 3.6. Valors d'emissivitat per als trams de NDVI del mètode de Sobrino i Raissouni..... | 59 |
| Taula 3.7. Valors bibliogràfics d'inèrcia tèrmica. | 61 |
| Taula 3.8. Valors de rugositat per a les categories SiB i per als diferents LAI..... | 66 |
| Taula 4.1. Valors de AOT per a les estacions de Tolosa, Avinyó i valors de mitjana per l'any 2000. | 73 |
| Taula 4.2. Valors teòrics i valors usats a la pràctica en el procediment de Laine | 74 |
| Taula 4.3. Valors teòrics i valors usats a la pràctica en el procediment de Derrien | 75 |
| Taula 4.4. Diferències d'albedos. | 79 |
| Taula 4.5. Coeficients tèrmics pel càlcul de l'emissivitat segons Valor i Caselles..... | 85 |
| Taula 4.6. Valors del primer terme dels coeficients de Fourier | 88 |
| Taula 4.7. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'albedo per a les categories del USGS-24..... | 91 |
| Taula 4.8 Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 de NDVI per a les categories del USGS-24..... | 92 |
| Taula 4.9. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'emissivitat per a les categories del USGS-24. | 92 |
| Taula 4.10. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'inèrcia tèrmica per les categories del USGS-24. | 93 |
| Taula 4.11. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'albedo per a les categories del CORINE. | 94 |
| Taula 4.12. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'albedo per a les categories 26, 31 i 32 del CORINE | 95 |
| Taula 4.13. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 de NDVI per a les categories del CORINE..... | 95 |
| Taula 4.14. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'emissivitat per a les categories del CORINE..... | 96 |
| Taula 4.15. Sèrie mensual i estacional de l'any 2000 d'inèrcia tèrmica per a les categories del CORINE. | 97 |
| Quadre 5.1. Elements d'un "boxplot" | 112 |
| Taula 5.1. Matriu de confusió entre categories dels USGS i del CORINE..... | 126 |
| Taula 5.2. Equivalències entre els mapes d'usos del sòl USGS i CORINE..... | 130 |
| Taula 6.1. Definició de les escales atmosfèriques | 133 |
| Taula 6.2. Paràmetres de superfície, per al període d'estiu per a les categories del USGS-24 | 140 |
| Taula 6.3. Paràmetres de superfície per a les categories del CORINE per l'agost de l'any 2000..... | 141 |

Índex de Figures

| | |
|---|-----|
| Figura 1.1. Albedo segons Matthews. | 2 |
| Figura 1.2. Relació entre la resolució espacial i temporal de diferents sensors satel·litaris. | 3 |
| Figura 1.3. Imatge global de síntesi de deu dies obtinguda amb el SPOT-VEGETATION | 5 |
| Figura 2.1. Composició en fals color del dia 04/02/2000 per la regió del domini 3 de MM5. | 12 |
| Figura 2.2. Principals trets geogràfics de la zona d'estudi. | 12 |
| Figura 2.3. Òrbites polars i <i>swath</i> dels satèl·lits NOAA. | 14 |
| Figura 2.4. Obtenció d'una imatge d'angles zenitals solars, composició d'una imatge RGB 3:2:1 de la zona de treball sobre la imatge d'angles zenitals | 17 |
| Figura 2.5. Imatges acolorides del dia 2 d'agost de 2002 de vapor d'aigua, columna d'ozó i pressió atmosfèrica en superfície obtingudes per interpolació de les dades del TOVS..... | 17 |
| Figura 2.6. Mapa d'usos del sòl del USGS-24 per a la zona del Mediterrani i per la zona d'estudi..... | 23 |
| Figura 2.7. <i>NATLAN CORINE Land Cover</i> versió 6/1999..... | 23 |
| Figura 2.8. Usos del sòl DMA'97. | 23 |
| Figura 3.1. Signatura espectral de l'aigua, la vegetació activa i el sòl nu, amb la distribució de les bandes dels sensors NOAA-AVHRR, SPOT-VGT i LANDSAT-TM..... | 26 |
| Figura 3.2. Classificació de les superfícies terrestres segons el grau de difusió | 28 |
| Figura 3.3. Geometria de la reflectivitat..... | 29 |
| Figura 3.4. Variació anual de la distància Terra-Sol, en unitats astronòmiques | 29 |
| Figura 3.5. Relació entre tres de les estimacions de reflectància per la sèrie AVHRR de l'any 2000. | 34 |
| Figura 3.6. SZA per a la sèrie d'imatges AVHRR de l'any 2000. | 35 |
| Figura 3.7. Interaccions de la irradiància solar amb la superfície i l'atmosfera terrestres. | 37 |
| Figura 3.8. Variació de la transmissivitat en funció de l'espessor òptic d'aerosols per al canal visible. | 40 |
| Figura 3.9. Índex d'aerosols derivat de les dades del POLDER, corresponent al mes de juny de 1997. | 43 |
| Figura 3.10. Índex d'aerosols derivat de les dades del TOMS..... | 43 |
| Figura 3.11. Llindars de Laine | 45 |
| Figura 3.12. Esquema de càlcul dels paràmetres geofísics de superfície a partir de les bandes AVHRR . | 50 |
| Figura 3.13. Funcions d'estimació de β_1 i β_2 segons Song i Gao..... | 54 |
| Figura 3.14. Distribució poblacional dels píxels d'una imatge segons el NDVI i la TST. | 65 |
| Figura 3.15. Línia de sòls expressada en un diagrama bi-variant de les bandes 3 i 4 de Landsat-TM..... | 65 |
| Figura 4.1. Esquema del processat de les imatges per a obtenir reflectàncies en el cas del visible i de l'infraroig i temperatures de brillantor per a les bandes del tèrmic..... | 67 |
| Figura 4.2. Gràfic polar on es representen els angles solars azimuthals i zenitals de les imatges | 69 |
| Figura 4.3. Mitjanes estacionals de concentracions de columna d'ozó..... | 71 |
| Figura 4.4. Valors de AOT ₅₅₀ per a les estacions de Tolosa, Avinyó i valors de mitjana per al 2000. | 72 |
| Figura 4.5. AOT ₅₅₀ de les 6 del matí a les 6 de la tarda en 4 dies a les estacions d'Avinyó i Tolosa. | 73 |
| Figura 4.6. Filtrat de núvols | 74 |
| Figura 4.7. Composades mensuals per al mes de setembre de 2000 | 76 |
| Figura 4.8. Perfil longitudinal dels albedos segons les quatre formulacions dels diferents autors i l'albedo calculat amb el mapa d'usos del sòl del USGS-24 i els valors de MM5..... | 81 |
| Figura 4.9. Perfil vertical dels albedos segons les quatre formulacions dels diferents autors i l'albedo calculat amb el mapa d'usos del sòl del USGS-24 i els valors de MM5..... | 81 |
| Figura 4.10. Imatges d'albedo calculades segons Valiente a partir de les sintètiques mensuals..... | 82 |
| Figura 4.11. Imatges de NDVI a partir de les sintètiques mensuals..... | 84 |
| Figura 4.12. Imatges d'emissivitat calculades amb el mètode de Valor i Caselles | 86 |
| Figura 4.13. TST diürna i nocturna per la mitjana del mes de març de 2000..... | 87 |
| Figura 4.14. Amplitud tèrmica per la mitjana del mes de març de 2000..... | 87 |
| Figura 4.15. Inèrcia tèrmica a partir de les imatges sintètiques mensuals de l'any 2000..... | 89 |
| Figura 4.16. Exemple de les mostres de les categories del USGS-24 a la illa de Mallorca. | 90 |
| Figura 5.1. Perfil horitzontal d'una fracció del canal del visible del dia 5 de setembre de 2000..... | 101 |

| | |
|--|-----|
| 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..... | 102 |
| Figura 5.3. Sèries anuals de NDVI, de gener a octubre per a AVHRR i VGT. | 104 |
| Figura 5.4. Diferències entre les sèries de NDVI per a VGT i AVHRR, per les categories USGS-24.... | 105 |
| Figura 5.5. Cicles anuals d'albedo (%) per a les categories del DMA'97 | 107 |
| Figura 5.6. Cicles anuals d'emissivitat (%) per a les categories del DMA'97,..... | 108 |
| Figura 5.7. Inèrcia tèrmica per als fruiters de regadiu i herbacis de secà de Mas Badia..... | 109 |
| Figura 5.8.Boxplot de les sèries anuals de NDVI per varies categories del USGS-24. | 111 |
| Figura 5.9. Boxplot de les sèries anuals de NDVI AVHRR amb les categories de CORINE..... | 114 |
| Figura 5.10. Boxplot de les sèries anuals d'albedo AVHRR amb les categories del USGS-24. | 116 |
| Figura 5.11. Boxplot de les sèries anuals d'albedo AVHRR, per la categoria 11 del USGS-24, separant la subcategoria amb neu de la que no en té | 117 |
| Figura 5.12. Boxplot de les sèries anuals d'albedo AVHRR amb les categories del CORINE..... | 118 |
| Figura 5.13. Albedos per als cultius de secà. USGS-24, CORINE i DMA'97 segons Cunillera..... | 119 |
| Figura 5.14. Albedo de tres categories forestals del CORINE..... | 119 |
| Figura 5.15. Boxplot dels cicles anuals de la TST diürna per a varies categories del USGS-24. | 120 |
| Figura 5.16. Boxplot dels cicles anuals de la TST nocturna per a varies categories del USGS-24. | 121 |
| Figura 5.17. Cicles anuals de l'amplitud tèrmica de la superfície terrestre per categories del USGS-24 | 122 |
| Figura 5.18. Amplitud tèrmica de dues categories del USGS-24 i inèrcia tèrmica calculada amb un albedo constant al llarg de l'any fixat en ambdós casos a 0,15..... | 122 |
| Figura 5.19. Boxplot dels cicles anuals de la inèrcia tèrmica per a varies categories del USGS-24..... | 123 |
| Figura 5.20. Boxplot dels cicles anuals de la inèrcia tèrmica per a varies categories del CORINE. | 125 |
| Figura 5.21. Sèries anuals de NDVI per diverses categories del USGS-24 i del CORINE (1)..... | 128 |
| Figura 5.22. Sèries anuals de NDVI per diverses categories del USGS-24 i del CORINE (2)..... | 128 |
| Figura 5.23. Sèries anuals de NDVI per diverses categories del USGS-24 i del CORINE (3)..... | 129 |
| | |
| Figura 6.1. Malla horitzontal i capes verticals d'un model de mesoescala. | 135 |
| Figura 6.2. Topografia derivada del GTOPO-30 del <i>U.S.Geological Survey</i> | 136 |
| per a la regió d'estudi, amb resolució espacial d'1 km. | 136 |
| Figura 6.3. Dominis de MM5 per al sud-est europeu..... | 137 |
| Figura 6.4. Situació sinòptica del 14 d'agost, (a) a les 0:00 UTC i (b) a les 12:00 UTC..... | 138 |
| Figura 6.5. Radiosondatge de Barcelona del dia 14 d'Agost de 2000 a les 12 UTC..... | 139 |
| Figura 6.6. Diferències d'albedo entre les configuracions CORINE i USGS-24..... | 143 |
| Figura 6.7. Diferències d'humitat entre les configuracions CORINE i USGS-24. | 143 |
| Figura 6.8. Diferències d'inèrcia tèrmica entre les configuracions CORINE i USGS-24. | 145 |
| Figura 6.9. Diferències de rugositat entre les configuracions CORINE i USGS-24..... | 145 |
| Figura 6.10. Diferències d'emissivitat entre les configuracions CORINE i USGS-24. | 146 |
| Figura 6.11. Diferències percentuals de la temperatura per tot el domini a les 15 i a les 24 UTC | 147 |
| Figura 6.12. Mapes d'usos del sòl per a l'Àrea Metropolitana de Barcelona. | 148 |
| Figura 6.13. Diferències percentuals en la temperatura del sòl i la temperatura al primer nivell del model entre CORINE i USGS a les 14 UTC a la zona de Barcelona..... | 148 |
| Figura 6.14. Camp de vents de la simulació USGS i diferències en la magnitud de la velocitat en el primer nivell i el camp de vents diferència entre el camp CORINE i el camp USGS..... | 149 |
| Figura 6.15. Mapes d'usos del sòl de la zona d'estudi de la comarca de l'Anoia. | 149 |
| Figura 6.16. Diferències percentuals entre les simulacions CORINE i USGS de la temperatura del sòl i la temperatura al primer nivell del model a les 14 UTC a la zona de l'Anoia | 150 |
| Figura 6.17. Camp de vents a les 14:00 UTC de la simulació USGS i camp de vents diferència entre les dues simulacions a les 14:00 UTC i diferència en la magnitud del vent | 150 |
| Figura 6.18. Perfils de convecció per al dia 14 d'agost de 2000 a les 15:00 UTC..... | 151 |
| Figura 6.19. Mapes d'usos del sòl de la zona d'estudi de la comarca d'Osona. | 152 |
| Figura 6.20. Diferències percentuals de la temperatura del sòl i la temperatura al primer nivell del model entre les simulacions CORINE i USGS a les 14 UTC a la zona d'Osona..... | 152 |
| Figura 6.21. Diferències entre la radiació incident simulada per les dues simulacions a les 14 UTC. | 153 |
| Figura 6.22. Evolució de la temperatura del sòl i de la radiació incident del punt localitzat a 42°N 2.25°E al llarg del dia per les dues simulacions | 153 |
| Figura 6.23. Camp de vents a les 14 UTC de la simulació USGS i camp de vents diferència CORINE-USGS entre les dues simulacions a les 14 UTC i diferència en la magnitud del vent. | 154 |

