



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Identificació i traçabilitat de les masses forestals al Massís del Montseny, a partir de l'anàlisi espectral de sèries temporals de dades d'Observació de la Terra

Anna Tardà Lleget



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial – SenseObraDerivada 4.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial – SinObraDerivada 4.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0. Spain License.**

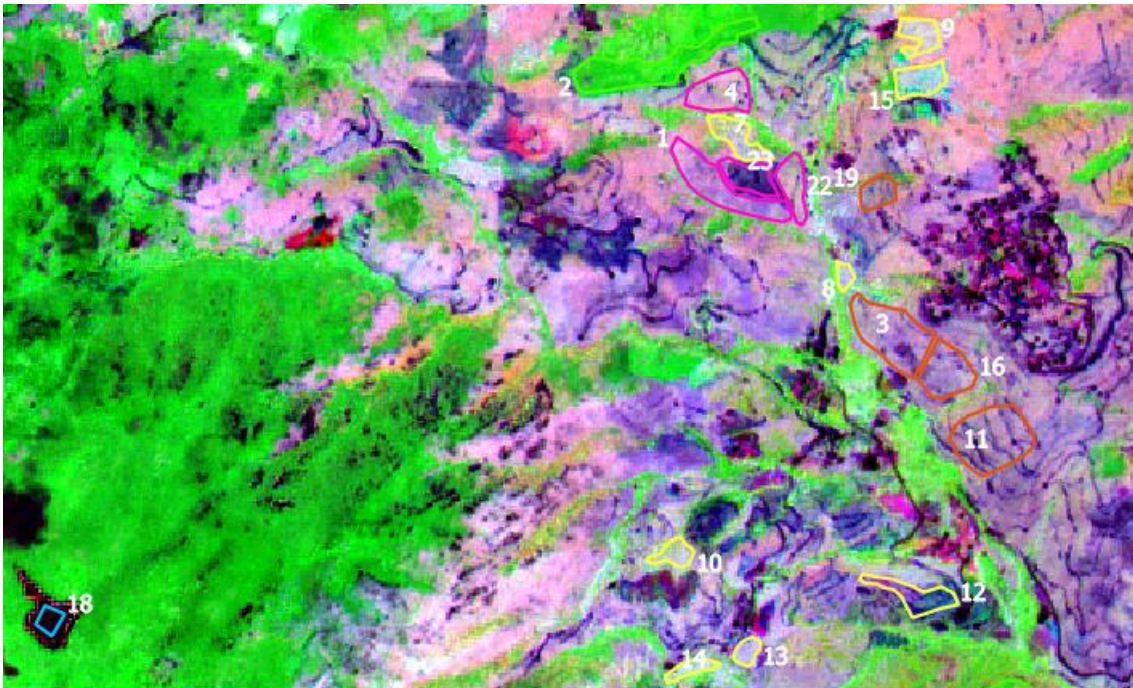


UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Programa de Doctorat en Geografia, Planificació Territorial i Gestió Ambiental

Facultat de Geografia i Història. Departament de Geografia

IDENTIFICACIÓ I TRAÇABILITAT DE LES MASSES
FORESTALS AL MASSÍS DEL MONTSENY,
A PARTIR DE L'ANÀLISI ESPECTRAL DE SÈRIES
TEMPORALS DE DADES D'OBSERVACIÓ DE LA TERRA



Tesi doctoral presentada per: **Anna Tardà Lleget**

Directors: **Dr. Xavier Úbeda Cartañá** i **Dr. Jordi Corbera Simon**

Tutor: **Dr. Xavier Úbeda Cartañá**

Gener 2022



UNIVERSITATo..
BARCELONA

Programa de Doctorat en Geografia, Planificació Territorial i Gestió
Ambiental

Facultat de Geografia i Història

Departament de Geografia

Tesi Doctoral

IDENTIFICACIÓ I TRAÇABILITAT DE LES MASSES
FORESTALS AL MASSÍS DEL MONTSENY,
A PARTIR DE L'ANÀLISI ESPECTRAL DE SÈRIES
TEMPORALS DE DADES D'OBSERVACIÓ DE LA TERRA

Presentada per:

Anna Tardà Lleget

Directors:

Dr. Xavier Úbeda Cartañá

Dr. Jordi Corbera Simon

Tutor:

Xavier Úbeda Cartañá

Gener 2022

A en Paco,

Que ja no m'ha acompanyat en aquests darrers temps

I al meu pare,

Amb els dos homes que he viscut i gaudit més els boscos del Montseny

AGRAÏMENTS

Vull donar els meus agraïments al Dr. Josep Maria Panareda, al Dr. Xavier Úbeda i al Dr. Jordi Corbera, sense ells aquesta tesi no hauria estat possible. A en Josep Maria Panareda per ser el meu professor de Biogeografia i fer-me estimar aquesta disciplina que m'ha ajudat tant a entendre la dinàmica dels nostres paisatges i l'acció de l'home. A en Xavier Úbeda per voler ser el meu director de tesi dins el Programa de Doctorat en Geografia, Planificació Territorial i Gestió Ambiental del meu Departament de Geografia (Facultat de Geografia i Història), i creure en el projecte que li presentava i acompanyar-me en tots els moments bons i dolents. I a en Jordi Corbera per fer-me entendre que mai és tard per fer una tesi doctoral, envalentir-me en la creuada i voler-me acompanyar en aquest procés com a director amb idees sempre encertades. També agrair a en Jordi, que en les llargues esperes de redacció per part meva, s'inspirés amb el meu recull fotogràfic de la Tesi i dissenyés les capçaleres dels capítols d'aquest document de forma tant magnífica.

Donar les gràcies també a la Dra. Carme Llasat i al Dr. Joaquim Farguell pels seus consells i opinions tant inspiradores per a la recerca.

També vull agrair els meus companys i caps de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, on he crescut com a professional amb tots ells i on bona part del meu modest coneixement és fruit del debat i dels projectes que hem compartit. Entre ells vull destacar tots els companys de l'Àrea d'Observació de la Terra (CSPCOT) i en especial na Lydia Pineda, en Vicenç Palà, en Fernando Pérez, en Ramon Alamús, en Luca Pipia, n'Oscar Mora, en Joan Gilabert i el meu cap en Jordi Corbera que m'han acompanyat sempre en els moments més bons i més dolents amb el màxim respecte generant un espai de confiança i de treball fructífer.

Vull agrair a la muntanya de Riells i Gualba, a la seva gent, a les famílies de Can Prat, Cal Batlle, Can Nadeu i Can Breta per transmetrem els coneixements que no són a cap llibre. Vull fer un especial record als meus tiets que ja no hi són, la Pepeta i en Pepito,

per ser la meva enciclopèdia de consulta durant anys. Ells em van fer conèixer i estimar la muntanya, els arbres, els animals, els aliments, la cuina i la vida.

Però la vida és plural i polifacètica i, en el meu cas per fer la Tesi, he hagut de reduir les meves activitats altruistes i comptar amb l'ajut dels més propers per no desatendre les meves dedicacions i obligacions. Entre aquestes persones voldria agrair a tota la Junta Directiva i del gabinet tècnic de l'Organització de Consumidors i Usuaris de Catalunya (OCUC) que m'han alliberat de moltes tasques que per el meu càrrec em pertocava realitzar en aquests darrers mesos. En especial, a la Dolors de Vicente per gestionar totes les feines on no fos imprescindible la meva dedicació.

Vull donar les gràcies als meus amics i amigues més propers per donar-me la dosi mínima de caliu per no embogir en la tasca tant intensa de fer una Tesi i poder desconnectar en aquests darrers mesos, com els sopars de temptació irresistibles de Cal Batlle, les sortides en bicicleta de muntanya amb les amigues per tenir cura del cos i la ment i les qui m'han acompanyat en estassades de recés per poder escriure.

Per últim, vull agrair els més propers, els meus pares, Pere i Montserrat i al meu germà Jordi per donar-me el suport tant emocional com pràctic per poder dedicar-me tot el temps possible a la Tesi i, especialment al meus fills, la Càndia i Biel que m'han donat un suport incondicional absolutament en tot (són meravellosos) i en Paco, pare dels meus fills, per viure i gaudir la vida conjunta mentre va poder. Sense la meva família no hauria tingut la valentia de tirar-ho endavant.

Gràcies a tots els que hi sou, els que no hi sou i els que m'hagi pogut deixar.

ÍNDEX

AGRAÏMENTS	7
ÍNDEX.....	9
PRÒLEG.....	19
RESUM / RESUMEN / ABSTRACT	23
LLISTAT ACRÒNIMS	29
PRESENTACIÓ I OBJECTIUS.....	33
1.1 Introducció	35
1.2 Hipòtesi de la recerca.....	38
1.3 Abast	39
1.4 Objectiu General	41
1.5 Objectius específics	41
2 ÀMBIT GEOGRÀFIC DE L'ESTUDI.....	43
2.1 Introducció	45
2.2 Les zones boscoses dins l'àmbit d'estudi	49
2.3 El clima i els fenòmens extrems	52
2.4 El relleu i els sòls	57
3 ANTECEDENTS I ESTAT DE L'ART	61
3.1 Introducció	63
3.2 Situació actual dels estudis en teledetecció dels boscos	65
3.3 Eines d'anàlisi geoespacial	70
3.3.1 Sistemes d'Informació Geogràfica i eines de tractament d'imatge.....	71
4 DE LES DADES A LA INFORMACIÓ.....	75
4.1 Introducció	77
4.2 Les dades de camp	77
4.2.1 Els PTGMFs i les seves actualitzacions	78
4.2.2 Selecció de rodals de seguiment.....	83
4.2.2.1 Fitxes descriptives dels rodals.....	86

4.2.3	Actualització dels treballs de camp als rodals principals	90
4.2.3.1	Materials de suport per realitzar el treball de camp	90
4.2.3.2	Descripció de la fitxa de camp dels rodals	91
4.2.3.3	Fitxa descriptiva de les dades dendromètriques	94
4.2.4	Les dades meteorològiques.....	99
4.2.5	La gestió forestal sostenible	103
4.2.5.1	Seguiment de la sostenibilitat de la gestió forestal de les suredes. Arxiu fotogràfic propi.....	108
4.2.6	La informació de camp	112
4.3	Les dades d'Observació de la Terra.....	114
4.3.1	Descàrrega i processat de dades Landsat.....	115
4.3.2	Descàrrega i processat de dades Sentinel 2	120
4.3.3	Anàlisi altres dades satèl·lit: radar, hiperespectrals i Lidar.....	123
4.3.3.1	Dades radar.....	123
4.3.3.2	Altres dades multiespectrals Copernicus: Sentinel 3	126
4.3.3.3	Dades hiperespectrals de satèl·lit	127
4.3.3.4	Dades Lidar de satèl·lit	130
4.3.4	Anàlisi dades aeroportades.....	132
4.3.4.1	Ortofotos de Catalunya.....	132
4.3.4.2	Model digital del terreny	133
5	METODOLOGIA, RESULTATS I LA SEVA DISCUSSIÓ.....	137
5.1	Introducció	139
5.2	La correcció atmosfèrica de les imatges	142
5.2.1	Imatges programa Landsat.....	143
5.2.2	Imatges programa Sentinel-2.....	144
5.2.3	Anàlisi comparatiu aproximacions	144
5.3	Obtenció de les signatures espectrals.....	149
5.3.1	Signatures espectrals del Sentinel 2	151
5.3.2	Descarrega massiva de les dades estadístiques bàsiques.....	155
5.3.3	Generació de les sèries temporals.....	159
5.4	Anàlisi del comportament de sèries temporals	161

5.4.1	Sèries temporals en l'estudi dels boscos.....	161
5.4.2	Sèries temporals amb els valors de reflectància	163
5.4.3	Sèries temporals amb índexs de vegetació	174
5.4.4	Índex de Creixement de la Vegetació i comparativa amb les dades de camp	181
5.4.4.1	Patrons temporals de quatre espècies arbòries	188
5.4.5	Anàlisi Geoespacial	191
5.4.6	Proposta de model de classificador	199
5.4.6.1	Banc de Patrons Temporals i Espectrals de les espècies arbòries dominants	201
5.4.6.2	Canvis puntuals de patró temporal	202
5.4.6.3	Canvis cíclics de patró temporal	204
5.4.6.4	Canvis de tendència del patró temporal	206
6	VALORACIONS I CONCLUSIONS	207
6.1	Valoracions i conclusions generals	209
6.1.1	Variabilitat espectral.....	211
6.1.2	Variabilitat temporal.....	212
6.1.3	El model de classificació	214
6.1.4	Sinergia OT i treball de camp.....	215
6.2	Conclusió final.....	216
7	FUTURES LÍNIES DE TREBALL	219
7.1	Noves capes d'informació i millores del model	221
7.2	Noves plataformes d'Observació de la Terra: GENEIO.....	223
8	REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.....	229
	ANNEXOS	239
	Annex 1: Fitxes descriptives 1: Els rodals principals i secundaris	239
	Annex 2: Exemple de Fitxa de Camp	255
	Annex 3: Fitxes Descriptives 2: Rodals principals amb inventaris forestals.....	259
	Annex 4: Parcel·les pseudoinvariants.....	265

Índex de Figures

Figura 2-1: Situació del Parc Natural del Montseny dins la Conca Mediterrània Occidental	47
Figura 2-2: Àrees d'estudi del sud est del Montseny on s'indiquen els diferents rodals i àrees d'interès..	48
Figura 2-3: Perfil de vegetació del Montseny tret de l'Institut Geogràfic Nacional (2018). pàg. 126. Original de Josep M. Panareda i il·lustració de Maravillas Boccio.....	49
Figura 2-4: Mapa - Distribució dels hàbitats en la zona d'estudi segons la Cartografia d'Habitats de Catalunya (2014)	51
Figura 2-5: Evolució de les temperatures màximes de l'estació del Turó de l'Home (1950-2018) a partir de les anomalies del període. Font: SMC.....	53
Figura 2-6: Evolució de les temperatures mínimes de l'estació del Turó de l'Home (1950-2018) a partir de les anomalies del període. Font: SMC.....	54
Figura 2-7: Evolució de les precipitacions anuals en les estacions del Turó de l'Home i Breda per el període entre l'any 1950 i 2018. Font: SMC	55
Figura 2-8: Evolució anual de temperatures i precipitacions per l'any 1994 i 2018 a l'estació del Turó de l'Home.....	56
Figura 2-9: Esquema dels tres perfils realitzats a l'àrea d'estudi (any 1989)	58
Figura 3-1: Esquema de la resposta espectral de la vegetació en les zones de l'espectre visible, infraroig proper i d'ona curta	64
Figura 3-2: Capa d'alta resolució amb dues classes forestals de la EEA Copernicus Land monitoring Service en la zona d'estudi del Montseny.	66
Figura 3-3: Capa d'alta resolució amb la capa forestal i els canvis del GFW en la zona d'estudi del Montseny.....	67
Figura 3-4: Signatures espectrals Sentinel-2 de cobertes forestals representades en el programari SNAP/Sentinel-2 Toolbox.....	72
Figura 3-5: Exemple de visualització d'imatge Prisma L2D de la zona centre d'Itàlia amb la representació d'una signatura espectral de vegetació de les 237 bandes del sensor	74
Figura 4-1: Full escanejat del 1er PTGMF Can Prat i Can Amat on es confirma que es guarden les dades dendromètriques mesurades abans de de l'incendi.....	80
Figura 4-2: Primera plana de la Fitxa descriptiva de la UA Sureda de les pedreres del PTGMF 133 actualitzat (2007).....	81
Figura 4-3: Primera plana de la Fitxa Descriptiva de la UA Sureda de Breda. Part Nord del primer PTGMF(2002).....	82
Figura 4-4: Situació geogràfica, identificació i tipologia dels rodals i parcel·les estudiades dins del Parc Natural del Montseny	84
Figura 4-5: Fitxa descriptiva de les dades principals del rodal 19 Sureda Nord.....	89
Figura 4-6: Fitxa de camp per prendre mesures dendromètriques de la massa forestal.....	93

Figura 4-7: Segona plana de la Fitxa descriptiva dels rodals 19, 4, 7, i 6. Sureda nord amb les dades dendromètriques	98
Figura 4-8. Anomalies de la precipitació mitja de la primavera per a l'estació meteorològica del turó de l'Home entre l'any 150 i 2020. Font: SMC	100
Figura 4-9; Anomalies de la precipitació mitja de la primavera per a l'estació meteorològica de Breda entre l'any 1950 i 2020. Font: SMC	100
Figura 4-10: Comparació d els anomalies de precipitació en la primavera en es dues estacions meteorològiques i la seva mitjana calculada. Font: SMC	101
Figura 4-11. Temperatura màxima mitjana calculada pels dies enregistrats de cada mes (1994-2020). Els mesos més calorosos es destaquen en vermell i els mesos més fred en verd. Font: SMC	102
Figura 4-12: Temperatura mínima mitjana calculada pels dies enregistrats de cada mes (1994-2020). Els mesos més calorosos es destaquen en vermell i els mesos més fred en blau. Els mesos amb temperatures per sota de 0°C es destaquen en vermell. Font: SMC	102
Figura 4-13: Seguiment fotogràfic de la fauna silvestre en els rodals de sureda o bosc mixt de sureda (període entre 2017 i 2020)	110
Figura 4-14: Efectes del corc del suro (<i>Coraebus undatus</i>) en la pana del suro i en el tronc de l'arbre (rodal 19)	111
Figura 4-15: Lleva del suro i els seu efectes en el canvi del troc	112
Figura 4-16: Fitxa resum de les dades de gestió forestal i dades addicionals al llarg del temps que caracteritzen el rodal 3.....	113
Figura 4-17: Nombre d'imatges Landsat 8 per mesos durant entre l'any 2013 i 2020 per la zona d'estudi	117
Figura 4-18: Nombre d'imatges Landsat 4 i 5 per mesos durant entre els anys 1984 i 2011 per la zona d'estudi	119
Figura 4-19: Imatge Sentinel-1A del 3 de març del 2017. Composició RGB amb polaritzacions Intensity_VV, Intensity_VH i Intensity_VV/ Intensity_VH sense correcció geomètrica	125
Figura 4-20: A l'esquerra mostra reduïda de la Sentinel 3A Synergy Product del dia 23 d'abril del 2021, a la dreta una subescena de l'entorn més immediat a l'àrea dels rodals a estudiar	127
Figura 4-21: Descripció de la mesura de la petjada de 25 metres del lidar GEDI (Products - GEDI, n.d.)	131
Figura 4-22: Sèrie temporal d'ortofotos ICGC per al rodal 1	133
Figura 4-23: Mapa - MDT Del 2020 representat com a mapa d'ombres amb la situació dels rodals i l'espècie arbòria dominant	134
Figura 5-1: Signatura espectral del rodal 6 de <i>Castanea Sativa</i> per imatges Sentinel-2 i Landsat (data 25/08/2020)	147
Figura 5-2: Signatures espectrals de quatre cobertes forestals pel mateix dia 25/08/2020 per Landsat 8 i Sentinel-2	148

Figura 5-3: Signatures espectrals de dos cobertes pseudoinvariants pel mateix dia 25/08/2020 per a Landsat i Sentinel-2.....	148
Figura 5-4: Representació de tots els valors de reflectància per cada banda i cada imatge durant un any del rodal 3.....	152
Figura 5-5: Signatures espectral del rodal 3: Sureda Sud per a les imatges Sentinel-2 durant l'any 2020.....	153
Figura 5-6: Dues representacions gràfiques per a les signatures espectrals anuals del Quercus Suber	154
Figura 5-7: Dues representacions gràfiques per a les signatures espectrals anuals de Castanea sativa	154
Figura 5-8: Flux de càlculs dels paràmetres estadístics per als valors de reflectància per a totes les imatges d'un any.....	157
Figura 5-9: Model QGIS de procés de les dades estadístiques.....	158
Figura 5-10: : Sèrie temporal Sentinel-2A de les signatures espectrals del Quercus suber per l'any 2020.....	159
Figura 5-11: Sèrie temporal Sentinel-2A de les signatures espectrals del Castanea sativa per l'any 2020.....	160
Figura 5-12: : Sèrie temporal Sentinel-2A de les signatures espectrals del Castanea Sativa per l'any 2020.....	161
Figura 5-13: Esquema d'una sèrie temporal de la vegetació presentada en el programari TIMESAT (Eklundh & Jönsson, 2017).....	163
Figura 5-14 Rodal 19: Sureda nord. Boira dins la sureda, fenomen comú en els vessants sud-est del Montseny a la primavera i estiu i que evita en bona mesura l'evapotranspiració de les boscos.....	164
Figura 5-15: Signatures espectrals del rodal 4 Quercus Ilex i la seva mitjana anual per als anys 2018, 2019 i 2020.....	167
Figura 5-16: Signatures espectrals del rodal 19 Quercus suber i la seva mitjana anual per als anys 2018, 2019 i 2020.....	169
Figura 5-17: Signatures espectrals del rodal 7 Pinus radiata i la seva mitjana anual per als anys 2018, 2019 i 2020.....	170
Figura 5-18: Representació anual de les bandes Sentinel-2 pel rodal 6 Castanea sativa.....	172
Figura 5-19. Signatures espectrals del rodal 6 Castanea Sativa i la seva mitjana anual per als anys 2018, 2019 i 2020.....	173
Figura 5-20: Corbes anuals dels índexs de vegetació calculats per al rodal 19 de Quercus suber (any 2020).....	178
Figura 5-21. Corbes anuals dels índexs de vegetació per al Quercus ilex i la Castanea sativa (any 2020).....	178
Figura 5-22: Corbes anuals dels índexs de vegetació RVI, NDVI i EVI per al Quercus suber (any 2020).....	179
Figura 5-23: Comparació dels índexs de vegetació NDVI, EVI, RVI per dates i mesos del Quercus suber.....	180

Figura 5-24 Comparació anual (mitjana de tres anys) dels índexs de vegetació NDVI, EVI i RVI en valors relatius	181
Figura 5-25: Representació gràfica de l'índex ICV per als tres anys del Quercus suber i la comparació entre els índexs RVI i EVI.....	184
Figura 5-26: Representació gràfica de l'índex ICV per als tres anys del Quercus ilex i la comparació entre els índexs RVI i EVI	185
Figura 5-27: Representació gràfica de l'índex ICV per als tres anys del Pinus radiata i la comparació entre els índexs RVI i EVI	186
Figura 5-28: Representació gràfica de l'índex ICV per als tres anys del Castanea sativa	187
Figura 5-29: Representació en valors absoluts dels índexs RVI i ICV per el Quercus ilex i el Quercus súber	188
Figura 5-30: Patró temporal anual de l'índex ICV per a el Castanea Sativa marcant el cicle estacional	189
Figura 5-31: Patró temporal anual de l'índex ICV per a les espècies perennifòlies	190
Figura 5-32:Comparació entre l'ortofoto RGB (2018) de l'ICGC i l'aplicació de l'índex ICV 2018 entres dates RGB	193
Figura 5-33. Quicklooks de l'ICV del març al novembre del 2019 a la zona de faigs (<i>Fagus sylvatica</i>) i el pantà a Santa Fe del Montseny	194
Figura 5-34: Aplicació de l'índex ICV en la imatge Sentinel-2 del dia 5 d'octubre del 2019 amb cobertura parcial de núvols.....	195
Figura 5-35: Aplicació de l'índex ICV grups de rodals amb la mateix espècie arbòria	198
Figura 5-36: Diagrama de flux per la caracterització de les masses boscoses	200
Figura 5-37: Patrons temporals per als arbres <i>Fagus sylvatica</i> i <i>Pseudotsuga menziesii</i>	202
Figura 5-38: Canvis de patró temporal de l'ICV per gestió forestal.....	203
Figura 5-39: Comportament anual del ICV per el rodal 19 amb <i>Quercus suber</i>	205
Figura 6-1: Patrons temporal de l'ICV per a quatre cobertes arbòries del sud-est del Montseny.....	213
Figura 7-1: Característiques espectrals AISA a GENE0/Simera	225
Figura 7-2: Imatge fals color GENE0 simulada sobre mapa topogràfic, amb mostres de cobertes tipus seleccionades per a l'anàlisi espectral comparat	225
Figura 7-3: Perfils espectrals per a les diferents cobertes arbòries	227
Figura 7-4: Valors dels índexs de vegetació d'una parcel·la de coníferes per a les dades simulades GENE0 i Sentinel-2.....	228

Índex de Taules

Taula 2-1: Episodis meteorològics concrets i excepcionals entre l'any 1994 i 2020 en l'àrea d'estudi.....	57
Taula 4-1: Recull dels PTGMFs usats en la recerca de dades de camp i de gestió forestal.....	79
Taula 4-2: Tipus d'inventari de camp i dades conservades	83
Taula 4-3: Recull dels 23 rodals i dues parcel·les pseudoinvariants usats com a veritat camp pel projecte	85
Taula 4-4: Classificació dels rodals segons les Tipologies Forestals Arbrades (TFA) determinada per als rodals principals (negreta) i estimada per als rodals secundaris	104
Taula 4-5: Tasques silvícoles i dades meteorològiques significatives per als rodals amb gestió forestal entre l'any 1994 i 2020.....	106
Taula 4-6: Cronologia i principals canvis de les missions Landsat a llarg de la seva història	115
Taula 4-7: Distribució del nombre d'imatges Landsat 8 per mesos i anys.....	118
Taula 4-8: Distribució del nombre d'imatges Landsat 4 i 5 per mesos i anys.....	120
Taula 4-9: Nombre d'imatges Sentinel-2A i B per anys disponibles per a la zona d'estudi sense núvols	122
Taula 4-10: Distribució del nombre d'imatges Sentinel-2A i B per mesos i anys	122
Taula 4-11: Característiques bàsiques dels instruments de la missió PRISMA, sensor i càmera	129
Taula 5-1: Taula de correspondències entre les bandes espectrals del Sentinel-2 L2A i el Landsat 8	145
Taula 5-2: Diferències entre les valors de reflectàncies de Sentinel-2 amb Landsat 8 per tres rodals d'alzinar.....	149
Taula 5-3: Variables que afecten la signatura espectral dels bosc (excloent la topografia del terreny i l'atmosfera) autor: Stenberg et al.	150
Taula 5-4: Estadístiques bàsiques per al rodal 3:Sureda sud per a totes les bandes de la imatge Sentinel-2 del dia 13/12/2020.....	151
Taula 5-5: Matriu de valors de reflectància per a totes les imatges del 2019 del rodal 4 Quercus ilex	166
Taula 5-6. Matriu de valors de reflectància per a totes les imatges del 2019 del rodal 6 Castanea Sativa	171
Taula 5-7: Relació comparativa entre els índex de vegetació i les bandes espectrals Landsat 8 i Sentinel-2	175
Taula 5-8: Fórmules dels índexs de vegetació aplicades a les imatges Sentinel-2 L2A.....	176
Taula 5-9. Índexs de vegetació derivats de les bandes del red edge del Sentinel-2.....	176
Taula 5-10: Càlculs dels índex de vegetació per al rodal 19: Sureda Sud (any 2020) per a les imatges Sentinel 2.....	177
Taula 5-11: Bandes espectrals del Sentinel-2 amb les bandes escollides per cada índex estudiat i per el nou índex ICV	182
Taula 5-12: Estadístiques bàsiques de l'índex ICV per rodal al Quercus Ilex per tot el conjunt d'imatges des del 2017 al 2020	196
Taula 7-1: Comparativa GENEEO simulat, respecte Landsat i Copernicus, en termes d'espectralitat i GSD	226

PRÒLEG

Realitzar una Tesi Doctoral no deu ser fàcil per a la majoria dels investigadors, si més no per a mi no ho ha estat de fàcil tot i que la voluntat de realitzar-la ha estat present durant molts anys. Després dels meus estudis en Geografia, la voluntat ja era ferma. De fet, vaig pensar que durant aquells anys d'estudi universitari havia treballat molts temes, molts d'ells molt interessants, i gairebé sempre amb una "visió de conjunt" que ens caracteritza a molts geògrafs. Però he de dir que clarament hi havia un tema que superava la meva afició o dedicació per sobre dels altres i que estava estretament relacionat amb la assignatura del cinquè curs, titulada Biogeografia. En ella hi podia cercar la resposta de la petjada de l'home a la Terra, especialment en l'entorn natural. La distribució de la vegetació, dels arbres, dels matollars, de l'abandonament agrícola, em fascinava i m'ajudava entendre els paisatges que configura l'home al llarg del temps. Així doncs, la meva àrea temàtica va estar definida molt precoçment, sabia que m'interessava l'evolució dels boscos, el seu tractament, la seva gestió i la seva ecologia. M'interessava de manera gairebé enamoradissa els boscos de sureda, aquell suro que es regenerava en tan pocs anys, que tenia unes propietats com a material gairebé úniques, formaven part del meu interès durant anys. De fet l'any 1989, mentre cursava el primer curs de doctorat ja vaig presentar un petit article sobre les suredes en les Jornades d'Estiu sobre les Zones de Muntanya a Tremp (Tardà, 1989). L'interès va anar creixent quan vaig iniciar la planificació forestal a principis dels anys 1990 en una bona part de les zones boscoses dels municipis de Riells i Viabrea i Gualba a partir dels Plans Tècnics i de Gestió Forestal durant anys i el seguiment de la gestió forestal d'alguns d'aquests indrets de forma concreta i continuada al llarg del temps, que m'ha proporcionat un coneixement més ampli i més palpable i directe dels fenòmens en el bosc.

Paral·lelament, he tingut una vida professional lligada a la Geografia i en particular a la Cartografia temàtica. La meua primera feina després dels estudis universitaris, molt curta però molt intensa va ser en l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries a Cabrils (IRTA) on vàrem estudiar la decadència del món maduixaire al Maresme. Allí vaig fer el meu primer estudi sobre l'evolució del paisatge agrari i forestal (Marfà et al., 1990), vàrem aconseguir fotografies del vol americà de l'any 1956 i mitjançant

l'estereoscòpia fotogràfica vàrem observar com les carenes i obagues de la Serralada Litoral havien canviat extraordinàriament en tant sols 40 anys. Vinyes, boscos, cereals, maduixeres, matollars, carreteres noves, tot depenia del moment econòmic i social al llarg del temps. El paisatge dels conreus de maduixes no havia existint sempre i aquest estava a punt de desaparèixer amb un abandonament progressiu del territori agrícola de muntanya.

L'Estudi sobre l'Evolució del Paisatge al Maresme Nord va ser la llavor de molts altres estudis sobre el territori a Catalunya gràcies al meu següent lloc de treball a l'Institut Cartogràfic Catalunya, actualment Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) on encara hi treballa. Al llarg de tots aquest anys he estat involucrada en desenes de treballs que han relacionat les dades l'Observació de la Terra amb el territori. Se'n podrien destacar diversos, però no puc deixar de mencionar la meva primera tasca iniciàtica al món dels satèl·lits amb la participació en el projecte Corine Land Cover (CLC) de la Unió Europea com a fotointèrpret de la primera versió del mapa sobre una quarta part del territori espanyol a partir d'imatges del programa Landsat (Baulies et al., 1991). Allí vaig aprendre els conceptes bàsics de la teledetecció amb un grup entusiasta i jove, preludi del que és l'actual l'Àrea d'Observació de la Terra de l'ICGC. Amb la interpretació de les imatges de satèl·lit, la fotografia aèria i els treballs de camp vaig cartografiar espais forestals molt diversos, no només la diversitat d'espècies sinó també el seu estat. Masses forestals madures, plantacions joves, espai forestals degradats per l'acció de l'home, infraestructures, urbanitzacions, terres agràries en regressió, contaminació dels espais naturals, etc. El projecte, tot i ser molt valuós per interpretar el territori, ens va demostrar que no tot es podia veure des del cel a més de 700 km on orbiten els satèl·lits Landsat. Necessitàvem informació colateral, molt treball de camp, molt coneixement del territori per poder discernir entre grans cobertes forestals com els boscos d'esclerofil·les, els boscos de caducifolis o els boscos de coníferes amb una àrea mínima de 25 ha. Aquest repte ha anat perdurant en els anys i l'anàlisi de l'estat i tipologia de les cobertes dels boscos no és una tasca ni obvia ni immediata amb tècniques d'Observació de la Terra.

I així, de forma gairebé inconscient, vaig anar forjant el problema d'investigació de la Tesi sobre alguns interrogants que no acabaven de ser resolts en l'estudi de les masses forestals, a partir de dades d'Observació de la Terra.

Per tant, es pot dir que mentre la meva àrea temàtica estava definida des de feia anys, com emmarcar el problema d'investigació a resoldre no ho estava. Al llarg del temps els interrogants també anaven creixent i modificant-se. Tot i que havia col·laborat i liderat el desenvolupament i implementació d'altres mapes de cobertes i usos del sòl tant per fotointerpretació com classificació multiespectral, estadístiques agràries per classificació multiespectral amb imatges de satèl·lit, estudis d'afeccions i malures als boscos, entre molts d'altres temes, seguia palès que l'Observació de la Terra o teledetecció no aportava, a partir de la resposta espectral de les masses forestals en un determinat entorn geogràfic, prou coneixement relatiu a l'estat dels boscos i de la seva gestió forestal ni com a eina de suport a la decisió en accions futures.

Les imatges de satèl·lit, com les del programa Landsat existents des dels anys 70 del segle XX, tot i ser un material molt valuós per a l'estudi de canvis en el territori al llarg del temps, tenien durant molts anys una resolució espacial massa grollera, fins i tot actualment amb 30 metres de píxel o GSD (*Ground Sample Distance*) i una revista de captació d'imatge de cada 15 dies no eren suficients pels objectius del meu estudi.

Des de l'any 2015 amb l'aparició de les primeres imatges òptiques del programa Europeu d'Observació de la Terra Copernicus, en concret del satèl·lit Sentinel-2, van obrir un nou escenari d'expectatives per a l'estudi de boscos, esdevenint així un bon moment per focalitzar la meva recerca i centrar el tema. Tot i així durant aquests quatre anys de Tesi el problema a "resoldre" ha estat redefinit i modificat força vegades per trobar el marc conceptual que pogués esdevenir tant una nova aportació, com un aprofitament de la feina i competències adquirides durant tots aquests anys. No ha estat fàcil ja que una recerca on cal explorar noves vies de treball, les referències bibliogràfiques no són abundants i les incerteses en poder corroborar les assumpcions i hipòtesis del meu treball són grans, circumstàncies que provoquen en alguns moments cert vertigen. Tot i així, m'ha guiat la lectura que vaig fer fa molt anys de com fer una Tesi segons Umberto Eco, ell considera que una Tesi doctoral ha de ser original, i encara que la poden fer els joves, és del parer que a una edat més avançada, els quaranta

o cinquanta anys dona el coneixement més ampli al doctorant sobre el tema d'interès, l'estat de l'art i poder veure on investigar per què altres encara no ho han fet (Eco, 1982, pàg. 19-20). Així, que sembla, que encara hi soc a temps i en aquest document presento el treball de recerca que he portat a terme. Per qui n'estigui interessat, espero que el gaudeixi.

Anna Tardà, Riells del Montseny, gener 2022

RESUM / RESUMEN / ABSTRACT

RESUM

Les masses forestals es troben en constant transformació per l'acció de l'home i pel canvi climàtic. L'estudi de la biodiversitat, el seguiment de l'estat en les espècies i la distribució de la vegetació en el territori esdevé un camp d'investigació i treball cada vegada més necessari per estudiar els impactes i els efectes d'aquests canvis.

Durant les darreres dècades, els satèl·lits d'Observació de la Terra, que inclouen tot tipus de sensors i instruments, han monitoritzat el territori, i, per tant, també els nostres boscos aportant dades i informacions rellevants de la distribució i estat de les masses forestals arreu del món. Actualment l'augment de missions de satèl·lits focalitzades a l'estudi de la Terra és vertiginós. Cal destacar les missions Sentinel dins el Programa Europeu d'Observació de la Terra de Copernicus (ESA) i per a la recerca que ens ocupa, la missió Sentinel-2 amb una constel·lació de dos satèl·lits que prenen imatges del nostre territori cada 5 dies. També cal afegir el Programa Landsat des de l'any 1972 que ha proporcionat imatges, cada 15 dies aproximadament, del nostre territori i que el passat setembre de l'any 2021 ha augmentat la seva freqüència cada 8 dies amb un nou satèl·lit. A més, apareixen noves constel·lacions de microsatèl·lits per obtenir dades de les activitats i canvis al territori en més precisió. N'és un bon exemple l'estratègia NewSpace Catalonia que properament posarà en òrbita un nanosatèl·lit d'Observació de la Terra amb una revisita aproximada sobre el territori català entre 4 o 5 dies.

En l'actualitat bona part de les dades o imatges associades així com dels diferents programaris basats en els Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG) per analitzar aquesta informació són de lliure accés i permeten el seu estudi de forma generalitzada per tota la comunitat científica i usuaris en general.

És en aquest context i conjuntura en el que s'ha desenvolupat aquest treball de Tesi per escollir les millors imatges de satèl·lit actuals i obertes (*open data*) que captin en l'espectre visible i infraroig per estudiar les masses arbòries al sud-est del Montseny i la seva fusió amb dades dendromètriques. Dades dendromètriques preses durant diferents treballs d'inventaris forestals realitzats en les tres darreres dècades i recollides

i treballades per aquesta Tesi. Fer el treball de camp directament ha donat la fiabilitat necessària per poder comparar la massa arbrada del territori i el què és capaç de captar les imatges multiespectrals de satèl·lit.

L'anàlisi i prèvia descàrrega i/o correcció d'imatges satèl·lit disponibles ha estat exhaustiu i, prèviament, s'han analitzat una gran quantitat d'imatges, especialment de les missions Landsat i Sentinel-2. Al final s'ha escollit el millor subconjunt basat amb 129 imatges del Sentinel-2 entre els anys 2017 i 2020. Aquestes imatges van ser descarregades amb un nivell de preprocessat (L2A) per obtenir directament els millors valors de reflectàncies.

Bona part del treball presentat s'ha centrat en analitzar la informació espectral a partir de les bandes originals també a partir de càlculs d'índexs de vegetació més afins als estudis de les masses forestals. D'aquesta manera i finalment, s'ha proposat el càlcul d'un nou índex basat en les variacions percentuals entre les quatre bandes espectrals que inclouen la part visible del verd i vermell i dues bandes de l'infraroig més proper que hem anomenat Índex de Creixement de la Vegetació (ICV). Amb aquest índex hem realitzat un estudi temporal de tres anys, entre el 2018 i 2020 on s'han pogut determinar uns patrons temporals de l'ICV per a les espècies arbòries dominants de les masses forestals estudiades. Aquests patrons temporals espectrals segueixen especialment un comportament fenològic durant l'any. Quan la seqüència del cicle vegetatiu amb l'ICV no es compleix implica molt probablement, un indicador de canvi derivat de la gestió forestal, d'afectacions biòtiques o abiòtiques, de la substitució de les cobertes, etc.

Per tant, aquest model d'aproximació temporal a la informació espectral ens proporciona una nova eina per classificar i detectar canvis a les masses forestals. Obre noves línies de treball per explotar les dades de satèl·lit actuals i futures per conèixer millor els nostres boscos mediterranis i amb la suficient informació de camp pot ser aplicat a totes les masses forestals.

RESUMEN

Las masas forestales están en constante transformación debido a la acción del hombre y por el cambio climático. El estudio de la biodiversidad, el seguimiento del estado en las especies y la distribución de la vegetación en el territorio se convierte en un campo de investigación y trabajo cada vez más necesario para estudiar los impactos y efectos de estos cambios.

Durante las últimas décadas, los satélites de Observación de la Tierra, que incluyen todo tipo de sensores e instrumentos, han monitorizado el territorio, y, por tanto, también nuestros bosques aportando datos e informaciones relevantes de la distribución y estado de las masas forestales en todo el mundo. Actualmente, el aumento de misiones de satélites focalizadas en el estudio de la Tierra es vertiginoso. Cabe destacar las misiones Sentinel dentro del Programa Europeo de Observación de la Tierra de Copernicus (ESA) y para la investigación que nos ocupa, la misión Sentinel-2 con una constelación de dos satélites que toman imágenes de nuestro territorio cada 5 días. También es necesario añadir el Programa Landsat que desde el año 1972 ha proporcionado imágenes cada 15 días, aproximadamente, de nuestro territorio y que el pasado septiembre del año 2021 ha aumentado su frecuencia cada 8 días con un nuevo satélite. Además, aparecen nuevas constelaciones de microsátélites para obtener datos de las actividades y cambios en el territorio con mayor precisión. Un buen ejemplo de ello es la estrategia NewSpace Catalonia que próximamente pondrá en órbita un nanosatélite de Observación de la Tierra con una revisita aproximada sobre el territorio catalán entre 4 o 5 días.

En la actualidad buena parte de los datos o imágenes asociadas, así como de los distintos softwares basados en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar esta información son de libre acceso y permiten su estudio de forma generalizada por toda la comunidad científica y usuarios en general.

Es en este contexto y coyuntura en el que se ha desarrollado este trabajo de Tesis para escoger las mejores imágenes de satélite actuales y abiertas (*open data*) que capten en el espectro visible e infrarrojo para estudiar las masas arbóreas en el sudeste del macizo del Montseny y su fusión con datos dendrométricos. Datos dendrométricos tomados

durante diferentes trabajos de inventarios forestales realizados en las tres últimas décadas y recogidos y trabajados en esta Tesis. Hacer el trabajo de campo ha dado directamente la fiabilidad necesaria para poder comparar la masa arbolada del territorio y lo que son capaces de captar las imágenes multispectrales de satélite.

El análisis y previa descarga y/o corrección de imágenes de satélite disponibles ha sido exhaustivo y, previamente, se han analizado una gran cantidad de imágenes, especialmente de las misiones Landsat y Sentinel-2. Al final se ha escogido el mejor subconjunto basado en 129 imágenes del Sentinel-2 entre los años 2017 y 2020. Estas imágenes fueron descargadas con un nivel de preprocesado (L2A) para obtener directamente los mejores valores de reflectancias.

Gran parte del trabajo presentado se ha centrado en analizar la información espectral a partir de las bandas originales, también a partir de cálculos de índices de vegetación más afines a los estudios de las masas forestales. De esta forma y finalmente, se ha propuesto el cálculo de un nuevo índice basado en las variaciones porcentuales entre las cuatro bandas espectrales que incluyen la parte visible del verde y rojo y dos bandas del infrarrojo más cercano que hemos llamado Índice de Crecimiento de la Vegetación (ICV). Con este índice hemos realizado un estudio temporal de tres años, entre 2018 y 2020, donde se han podido determinar unos patrones temporales del ICV para las especies arbóreas dominantes de las masas forestales estudiadas. Estos patrones temporales espectrales siguen especialmente un comportamiento fenológico a lo largo del año. Cuando la secuencia del ciclo vegetativo con el ICV no se cumple implica muy probablemente un indicador de cambio derivado de la gestión forestal, de afectaciones bióticas o abióticas, de la sustitución de las cubiertas, etc.

Por lo tanto, este modelo de aproximación temporal a la información espectral nos proporciona una nueva herramienta para clasificar y detectar cambios en las masas forestales. Abre nuevas líneas de trabajo para explotar los datos de satélite actuales y futuros, con el objetivo de conocer mejor nuestros bosques mediterráneos y con suficiente información de campo puede ser aplicado a cualquier tipo de masa forestal.

ABSTRACT

Forest masses are constantly changing due to man's action and climate change. The study of the biodiversity, the monitoring of the species' state and the distribution of the vegetation in the territory becomes an increasingly necessary field of research to study the impacts and the effects of these changes.

Over the last few decades, Earth Observation satellites, which includes all kinds of sensors and instruments, have monitored the territory, and thus our forests, providing relevant data and information on the distribution and state of the forest masses worldwide. Currently, the increase in satellite missions focused on the study of the Earth is vertiginous. It is worth to point out the Sentinel missions within the European Space Observation Programme of Copernicus (ESA) and for the research we are working on, the Sentinel-2 mission with a constellation of two satellites taking images of our territory every 5 days. Since 1975, the Landsat Programme has also been added, which has provided images of our territory every 15 days approximately, and which in September 2021 has increased its frequency to every 8 days with a new satellite. In addition, new microsatellite constellations need to be taken into account in order to obtain data from activities and changes of the territory at greater precision. A good example is the NewSpace Catalonia strategy that will shortly orbit an Earth Observation nanosatellite with a revisit time on the Catalan territory of 4 to 5 days.

Currently, much of the associated data or images as well as the different software based on the Geographical Information Systems (GIS) to analyse this information are freely accessible and allow their study to be carried out across the entire scientific community and users in general.

At this juncture, this Thesis has been developed to choose the best current and open satellite images that capture the visible and infrared spectrum to study the tree masses of the southeast of Montseny and its union with dendrometric data. Dendrometric data was taken during different forest inventory work done over the last three decades, and collected and worked during this Thesis. Doing fieldwork directly has given the necessary reliability to compare the forest mass of the territory and what is capable of capturing multispectral satellite images.

The analysis and prior download and/or correction of available satellite images has been exhaustive and a large number of images have been previously analysed, especially for the Landsat and Sentinel-2 missions. The best subset based on 129 images of Sentinel-2 between 2017 and 2020 has been chosen. These images were downloaded with a pre-processed level (L2A) to directly obtain the best reflectance values.

Part of the work presented is focused on analysing spectral information from the original bands, also from calculations of vegetation indexes more closely related to forest mass studies. In this way, a new index based on percentage variations has been proposed among the four spectral bands that include the visible portion of green and red and two closest infrared bands. We have called this new index as *Índex de Creixement de la Vegetació (ICV)*, in English, *Vegetation Growth Index*. With this index, we have carried out a three-year temporary study, between 2018 and 2020, where temporary ICV patterns have been determined for the predominant tree species of the studied forested masses. These spectral time patterns follow a particular phenological behaviour during the year. When the sequence of the vegetative cycle is not met with the ICV, it most likely implies a change indicator derived from forest management, biotic or abiotic diseases, cover land replacement, etc.

Therefore, this model of temporary approximation to spectral information provides us with a new tool for classifying and detecting changes in forest masses. Opens new working lines to exploit current and future satellite data to better understand our Mediterranean forests and with sufficient field information, it can be applied to all forest masses.

LLISTAT ACRÒNIMS

AB	Àrea basal
AISA	Sensor hiperespectral Aeroportat
ASI	Agència Espacial Italiana
AVIRIS	Airborne Visible / Infrared Imaging Spectrometer
BOA	Botton of Atmosphere
CASI	Compact Airborne Spectrographic Imager
CE	Comissió Europea
CHIME	Copernicus Hyperspectral Imaging Mission
CHM	models digitals d'alçada
CLC	Corine Land Cover
COP	Conference of the Parties
CPF	Centre de la Propietat Forestal
DSM	models digitals de superfície
DTM	models digitals del terreny
EBC2030	Estratègia de la Bioeconomia de Catalunya (2021-2030)
EEA	l'Agència Europea del Medi Ambient
ENMAP	Environmental Mapping and Analysis Program
ESA	Agència Espacial Europea
	European Organisation for the Exploitation of Meteorological
EUMESAT	Satellites
EVI	Enhanced Vegetation Index
FCC	Fracció Coberta Coberta
FTY	Hight Resolution Layer Forest Type
GDAL	Geospatial Data Abstraction Library
GEDI	Global Ecosystem Dynamics Investigation
GEOSS	Global Earth Observation System of Systems
GFS	Gestió Forestal Sostenible
GFW	Global Forest Watch
GNDR	Green Normalized Difference Vegetation Index
GPS	Global Positioning System
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
ha	Hactàrea
HISUI	Hyperspectral Imager Suite
HYDICE	Hyperspectral Digital Imagery Collection Experiment
HYMAP	Hyp hyperspectral scanner
HypXIM	HYPperspectral-X Imagery
IBP	Índex de Biodiversitat Potencial
ICV	Índex de Creixement de la Vegetació
ISS	Estació Espacial Internacional
JRC	Join Research Centre
ICC	Institut Cartogràfic de Catalunya

ICGC	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
Lidar	Light Detection and Ranging
LUCAS	Land use and land cover survey
MDS	Model Digital de Superfícies
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBR	Normalized Burned Ratio Index
NDMI	Normalized Difference Moisture Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Infraroig proper
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ORGEST	Orientacions de Gestió forestal Sostenible de Catalunya
PEFC	Program for the Endorsement of Forest Certification
PEIN	Pla d'Espais d'Interès Natural
PTGMF	Pla Tècnic de Gestió i Millora Forestal
RGB	Red Green Blue
RODIS	Reflective Optics System Imaging Spectromete
RVI	Ratio Vegetation Index
SAGA	System for Automated Geoscientific Analyses
SAR	Radar d'Apertura Sintètica
SHALOM	Spaceborne Hyperspectral Applicative Land and Ocean Mission
SMC	Servei Meteorològic de Catalunya
SIG	Sistemes d'Informació Geogràfica
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SWIR	Infraroig curt
TASI	Thermal Hyperspectral Imaging Sensor
TFA	Tipologies Forestals Arbrades
TOA	Top of Atmosphere
UA	Unitat d'Actuació
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USGS	United States Geological Survey
VIS	Espectre visible
WMS	Web Map Server

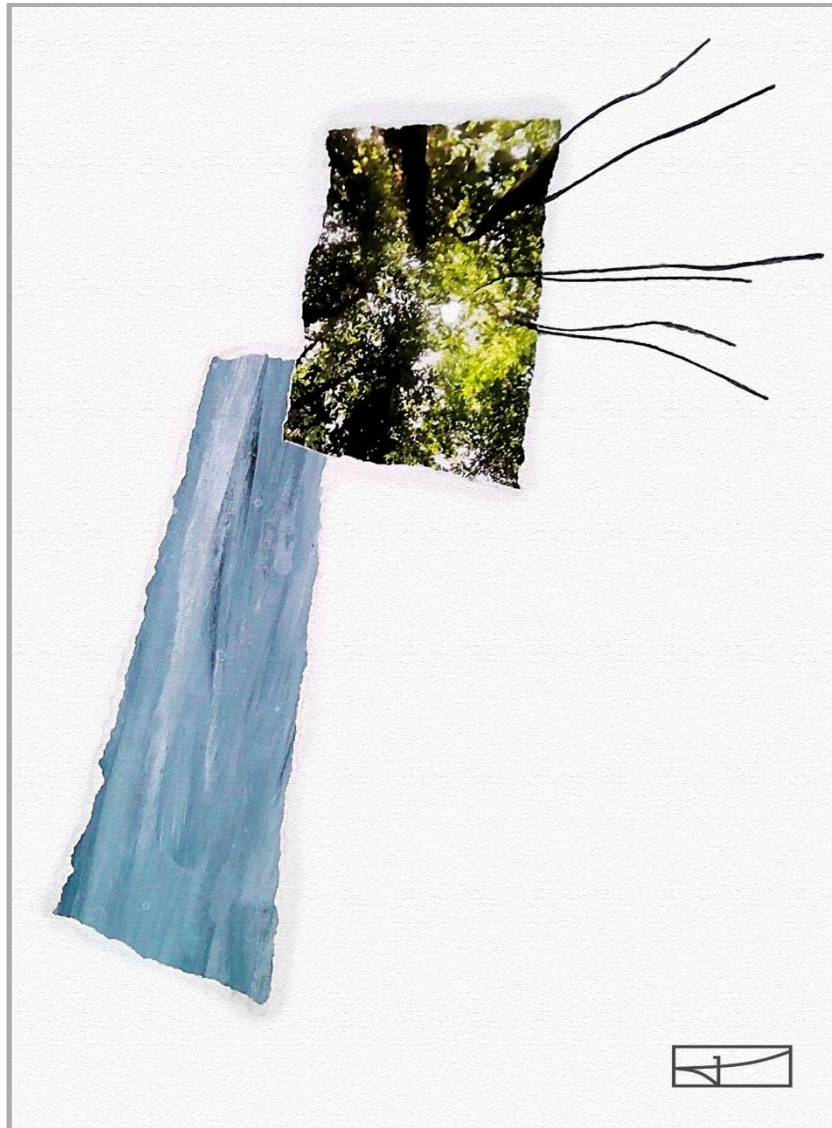
LLISTAT D'ESPÈCIES ARBÒRIES

Llista de tots els arbres que han aparegut durant el treball de camp.

Els arbres de peus majors (CD10cm) que han sortit en les gràfiques dels inventaris forestals se'ls hi ha assignat el color mostrat en aquesta llista.

Abreviatura	Nom local de l'espècie	Nom científic
Qs	Alzina surera	<i>Quercus suber</i>
Qi	Alzina	<i>Quercus ilex (sp. ilex)</i>
Cs	Castanyer	<i>Castanea sativa</i>
Fs	Faig	<i>Fagus sylvatica</i>
Ps	Pollancre	<i>Populus sp.</i>
Ag	Vern	<i>Alnus glutinosa</i>
Ph	Plàtan	<i>Platanus hybrida</i>
Ppa	Pi pinyer	<i>Pinus pinea</i>
Ppn	Pinastre	<i>Pinus pinaster</i>
Pr	Pi insigne	<i>Pinus radiata</i>
Psm	Avet de Douglas	<i>Pseudotsuga menziesil</i>
Ia	Boix grèvol	<i>Ilex aquifólium</i>
		<i>Robinia pseudo-acacia</i>
Ra	Escàcia	
Fe	Freixe de fulla gran	<i>Fraxinus excelsior</i>
Au	Arboç	<i>Arbutus unedo</i>
Er	Bruc d'escombres	<i>Erica scoparia</i>
Qr	Roure pènol	<i>Quercus robur</i>
Ca	Avellaner	<i>Corylus avellana</i>
Qpe	Roure de fulla gran	<i>Quercus petraea</i>
Qru	Roure americà	<i>Quercus rubra</i>
Jr	Noguera	<i>Juglans regia</i>

PRESENTACIÓ I OBJECTIUS



Rodal 6 Baga de Corbera: Visió de la fracció cabuda coberta (FCC) des del punt central
mirant al cel

(tècnica mixta, acrílic, fotografia i creta)

1.1 Introducció

Des de l'aparició de programes de satèl·lit d'Observació de la Terra a partir del anys 70 del segle passat la Teledetecció (com a disciplina de tècniques i tecnologies d'anàlisi de les dades de les plataformes d'Observació de la Terra) ha esdevingut una eina clau en els estudis de la Terra i del canvi global. En l'àmbit dels estudis de boscos, un bon exemple de l'ús de la Teledetecció és el seguiment de la desforestació dels boscos tropicals de l'Amazònia fins l'actualitat. Les imatges de satèl·lit dels programes Landsat i National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) van fer arribar a la comunitat científica però també al públic en general el coneixement que es podia monitoritzar l'acció de l'home a la Terra des de l'espai.

D'aquella època fins l'actualitat són molts els programes i estudis relacionats amb l'Observació de la Terra que han ajudat a entendre que estem davant un escenari de canvi climàtic amb conseqüències clares sobre els nostres ecosistemes i de retruc sobre la nostra qualitat de vida. Estudis a partir d'imatges de satèl·lit com el seguiment de les glaceres als pols, l'augment de temperatura als oceans, la qualitat de l'aire, els episodis meteorològics o els canvis de cobertes, com els boscos entre molts d'altres, han estat seguits per programes de satèl·lit endegats per grans corporacions com la National Aeronautics and Space Administration (NASA) o l'ESA però també per els programes d'Observació de la Terra dels països de tot el món que confirmen l'emergència climàtica del planeta. Aquestes dades junt amb molts altres informes de la comunitat científica internacional han ajudat a fomentar arguments per a la classe política en la direcció que cal aturar l'augment de la temperatura global de 1.5 °C abans de l'any 2050 per minorar els efectes del canvi climàtic acordat en el Pacte de París de la COP21 l'any 2015 i corroborat en el Pacte de Glasgow de la COP26 d'aquest novembre passat.

A partir del 2000 i relacionat en l'estudi de la vegetació i les masses forestals a escala de tot el planeta, hem de destacar el sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) de la NASA per obtenir productes estandarditzats de sèries temporals a partir d'índexs de vegetació (*MODIS Web*, n.d.). Aquestes dades de presència i intensitat de verdor globals, no deixen de ser el que diríem col·loquialment "les grans línies" del que passa al món amb la coberta vegetal. Però quan arribem a

nivell regional o local per estudiar els boscos a partir de tècniques d'Observació de la Terra des de satèl·lit ja és més complex de realitzar a la vegada que imprescindible com a eina de suport a la decisió en accions i polítiques concretes. Una de les raons és perquè a nivell regional o local ja no es vol saber només el vigor de la vegetació a una resolució espacial de 250 o 500 m, obtinguda amb MODIS o 30 metres amb Landsat, sinó que es volen conèixer les característiques més útils de la vegetació i amb una resolució espacials més alta, per prendre decisions. Els nostres planificadors i *decision-makers* necessiten informació més detallada, més actualitzada sobre el tipus de bosc, la seva evolució, l'estat sanitari, la seva gestió forestal entre molts temes possibles a estudiar a nivell de municipi, de Pla d'Espais d'Interès Natural (PEIN), de reserva natural, de corporació metropolitana, a nivell de Catalunya, etc.

Així doncs, situats en l'àmbit territorial de Catalunya, a mesura que els indicadors ambientals empitjoren i es parla d'emergència climàtica, les necessitats sobre el coneixement dels nostres boscos s'accelerà. I no és fútil, aquest setembre passat el Govern de Catalunya va posar en marxa l'Estratègia de la Bioeconomia a Catalunya (EBC2030)(*Noticia - Ruralcat*, n.d.) per al període 2021 al 2030 amb l'objectiu de promoure un model econòmic basat en l'aprofitament òptim dels recursos naturals renovables, seguint l'estela de les directrius del projecte *European Green Deal*. Entre les prioritats principals de l'EBC230, trobem la millora de la gestió forestal, l'aprofitament dels recursos forestals i la creació de paisatges agroforestals resistents al canvi climàtic i la provisió de serveis ecosistèmics.

La darrera versió del l'any 2018 del Mapa de cobertes del Sòl de Catalunya (MCSC-5) ens indica que les cobertes de caire forestal que engloba principalment boscos i matollars segueixen ocupant el 64% del territori català. Malgrat els incendis forestals, i les ocupacions urbanes i agrícoles de zones forestals, el bosc no decreix, segurament degut a efectes com l'abandonament d'altres zones agrícoles de difícil mecanització agrícola i poc rendibles o per la manca d'aprofitament dels productes forestals. De fet, Catalunya és una de les regions europees amb més territori, en percentatge, ocupat per boscos i davant dels reptes a complir dins EBC2030 ha de potenciar l'explotació sostenible d'aquest recurs. En aquest sentit, tota aportació en el millor coneixement dels

nostres boscos actuals des d'un punt de vista geoespacial serà útil per ajudar a la correcta planificació i explotació en el futur.

Des dels anys 50 del segle passat els boscos de Catalunya han estat fotografiats des del cel, primer per vols aeris amb càmeres fotogramètriques en blanc i negre i més tard a partir dels anys 90 per vols amb càmeres de color i d'infraroig. Els vols amb cobertura anual de tot el territori català no han arribat fins els darrers anys. També des dels anys 70 es poden obtenir, avui dia de forma gratuïta, imatges de satèl·lit d'Observació de la Terra com les imatges multiespectrals del programa Landsat i que han estat utilitzades per molts estudis de cobertes del sòl a Catalunya. Fins el setembre de l'any 2021 aquestes imatges de Catalunya s'obtenien aproximadament cada quinze dies si no apareixen cobertures de núvols, amb la incorporació del nou Landsat 9 (el llançament es va produir a la tardor de 2021) serà cada 8 dies. L'any 2015 l'ESA va iniciar la posada en òrbita d'una nova constel·lació de dos satèl·lits Sentinel-2 per obtenir imatges multiespectrals d'alta resolució espacial per monitoritzar millor el territori i, en especial, la vegetació, dins el programa Copernicus.

Des del 2017, es disposa de sèries completes i gratuïtes dels sensors embarcats a les plataformes Sentinel-2A i Sentinel-2B, cada 5 dies de tot Catalunya sempre hi quan estiguin lliures de núvols. Aquesta periodicitat i millora de les característiques espectrals i espacials ha portat a la comunitat científica internacional i, també, la catalana, a realitzar nous estudis per aprofundir en el coneixement de les cobertes del territori com és el cas en aquest treball de Tesi.

Aquesta Tesi té com a objecte analitzar la resposta espectral de les sèries temporals del Sentinel-2 des del 2017 sobre masses boscoses denses catalogades a partir d'inventaris forestals propis d'una àrea geogràfica concreta amb la intenció de trobar alguns patrons bàsics del comportament espectral i temporal entre diferents espècies arbòries per després poder detectar canvis puntuals, cíclics, i si s'escau, de tendències a llarg termini. Segons els resultats obtinguts aquesta metodologia es pot aplicar a la sèrie temporal de les col·leccions Landsat.

A continuació detallem la hipòtesi de la recerca, l'abast del treball, l'objectiu principal i els objectius específics que han centrat aquest treball de Tesi.

1.2 Hipòtesi de la recerca

La hipòtesi principal del treball es centra en la idea que els avenços tecnològics que reverteixen en la qualitat i la millora de les diferents resolucions espacials, espectrals i radiomètriques de les imatges de satèl·lit i la seva alta periodicitat de captura, és a dir, la seva resolució temporal permetrà la transformació de les dades, en informació i capacitat de reconeixement de les masses forestals principals a Catalunya i l'estudi de la seva evolució, gestió i intervencions a partir del seu coneixement espectral.

Fins l'actualitat això no havia estat del tot factible per la manca d'imatges de satèl·lit adequades, per una resolució espectral i espacial insuficient i per uns pre-processos de les imatges poc sistemàtics. Per contra, en els darrers temps, gràcies a) a l'aparició de noves imatges de satèl·lit com les de Sentinel-2 o b) la recent incorporació del Landsat 9 entre altres, c) a les correccions radiomètriques sistemàtiques de les col·leccions d'imatges, bé històriques com les del programa Landsat o les actualitzacions del Sentinel 2, així com d) a l'aparició de nous programaris de teledetecció i l'augment en la capacitat de processat ha de permetre confirmar la hipòtesi.

Sota aquest supòsit, aquest treball cerca aportar nous avenços en diferents branques del coneixement de les cobertes forestals, que quedarien resumits en:

- Realitzar la **cartografia del mapes de cobertes** forestals amb més detall, sempre que sigui possible, tant des de la seva localització geogràfica com la seva tipologia, estat evolutiu o canvis de la massa forestal, ajudant al coneixement més exhaustiu del territori.
- Estudiar el **comportament fenològic** de les plantes en sèries temporals per conèixer millor les possibles alteracions de les masses boscoses derivades del canvi climàtic i fer un seguiment de les espècies arbòries afectades.
- Anticipar el possible **decaïment forestal** per gestionar les masses forestals i els seus possibles riscos biòtics com plagues o malalties o abiòtics com el dèficit hídric.

- Planificar la **gestió forestal** per reduir els **efectes del canvi climàtic i la seva vulnerabilitat** (reduir la despesa de l'aigua, evitar la reducció del carboni fixat, mantenir la biodiversitat entre els més destacats)
- Detectar **plantacions o tasques forestals** il·legals per supervisar des de l'administració forestal competent.
- Identificar les masses forestals sostenibles per a **l'etiquetatge ecològic i de proximitat**, com a una aportació diferencial en el marc del Programa per al reconeixement de sistemes de certificació forestal (PEFC).

1.3 Abast

Un dels trets rellevants dels boscos de Catalunya és la seva extraordinària biodiversitat, sustentada en bona mesura per la presència de molts tipus de formacions forestals representatives de l'Europa Occidental. Els boscos a Catalunya hi són des de temps immemorials i, en molts casos hi són per què les terres agrícoles de Catalunya no són tant rendibles com altres zones agrícoles d'Europa i tampoc van ser envaïdes per a la seva transformació. En línies generals, els boscos que coneixem a l'actualitat són producte de la intervenció humana del segle passat amb l'explotació del bosc, les plantacions forestals i, notablement, de la no intervenció forestal en les darreres dècades, deixant el creixement dels boscos al seu lliure procés. Resultat d'aquesta actitud o comportament podríem dir que tot i haver-hi molt més extensió de bosc, això no ha comportat un augment de la biodiversitat, que, a més, pateix amenaces molt evidents com creixements urbanístics en espais forestals, la sobre freqüentació o els incendis forestals (Boada, 2003).

El massís del Montseny és una bona representació d'aquesta biodiversitat, i a l'hora testimoni de les problemàtiques que hem apuntat. El Montseny es troba en el sistema muntanyós Pre-litoral de Catalunya, entre les muntanyes de les Guilleries i el Montnegre, És un conjunt muntanyós governat per tres grans pics, el turó de l'Home (1.712 m), les Agudes (1.706 m) i el turó de Morou (1.300 m) que envolten la Vall de Santa Fe. Majoritàriament està format per cobertes forestals, amb un predomini dels

boscós que van canviant segons la seva altitud, la seva orientació i el pendent i la intervenció antròpica que hi ha hagut. El Montseny va ser un dels primers espais naturals que es van protegir i actualment es regeix pel Decret 127/2021 de l'1 de juny sobre el Parc Natural del Montseny i sobre els espais del PEIN el Montseny i els cingles de Bertí. Aquestes figures de protecció natural també han condicionat l'evolució dels boscós i la seva situació actual (Salvador & Girant, 2014). Cal afegir que el 10 d'agost de l'any 1994 al municipi de Gualba es va iniciar un dels grans focs que ha patit la muntanya i que va afectar a unes 800 ha del Parc, tot i que l'incendi va cremar unes 9000 ha, afectant bona part de la falda del Montseny orientada entre el sud i l'est.

Dins d'aquest massís s'ha escollit, com a àmbit d'estudi d'aquesta Tesi, una zona forestal situada en els vessants més orientals del Turó de Morou entre els 400 i 900 metres, amb rodals de diferents formacions boscoses on es coneixen algunes dades de camp i la gestió forestal dels darrers 30 anys aproximadament. Els rodals són de diferents formacions boscoses, totes elles amb densitats altes i algunes d'elles van estar afectades per l'incendi forestal del 1994. Cal prendre especial atenció als rodals dels boscós de sureda, alguns dels quals van ser afectats per l'incendi forestal de 1994, però tots ells amb dades de camp i de la seva gestió forestal. Aquestes dades concretes seran molt rellevants per l'estudi temporal de les masses forestals, tant per la seva existència, fet que es dona de forma molt ocasional, com pel desenvolupament i seguiment de la hipòtesi de treball d'aquesta Tesi, a partir de la informació de l'Observació de la Terra més actual, però també sempre que sigui possible més antiga.

Les dades d'Observació de la Terra considerades en aquest estudi són essencialment, i és una premissa d'aquest treball de Tesi, dades de satèl·lit d'accés gratuït. Per ordre d'ús, en treball són les imatges òptiques del Sentinel-2 A i B del Programa Copernicus de ESA i les imatges del programa Landsat de la NASA/USGS d'Estats Units. En qualsevol cas i al llarg del treball, farem referència a altres dades d'Observació de la Terra, com les ortofotos de l'ICGC al llarg del temps i altres imatges de satèl·lit, que s'espera que en poc temps estiguin disponibles, com les imatges hiperespectrals del sensor PRISMA de l'Agència Espacial Italiana (ASI). També fem referència a plataformes impulsades per l'ESA, i encara més properes, com les imatges

multiespectrals d'alta resolució espacial i espectral que proporcionarà la recent estratègia Newspace Catalunya.

Així doncs, durant aquest treball es porta a terme l'estudi exhaustiu del comportament espectral de les masses boscoses objecte d'estudi i representatives del Montseny comparades amb les dades de camp i de gestió forestal. La zona d'estudi es considera que és una zona representativa de certes masses forestals abundants a Catalunya, i per tant, al llarg del treball, les diferents assumpcions i aproximacions, ens confirmaran la idoneïtat en l'extrapolació dels resultats circumscrits a la zona d'estudi, a la caracterització global dels boscos a Catalunya i àmbits mediterranis

1.4 Objectiu General

L'objectiu general d'aquesta Tesi és desenvolupar, a partir d'imatges multiespectrals *open data*, indicadors o *proxies* que ens permetin determinar, a partir del comportament espectral i temporal, el tipus d'espècies i el seu estat fenològic, en l'àmbit geogràfic a estudi.

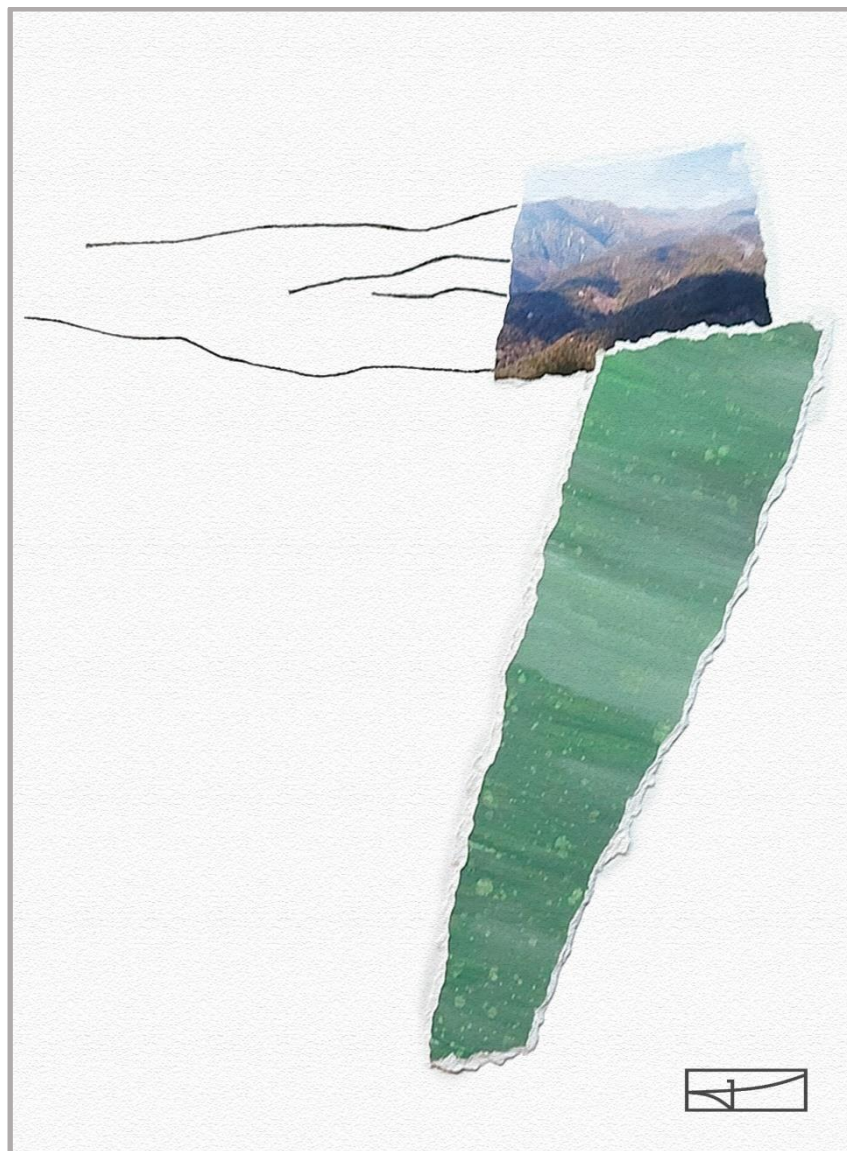
A partir d'aquest objectiu general, se'n deriven objectius específics:

1.5 Objectius específics

1. Selecció de *test sites* o àrees de mostra atenent a criteris de representativitat en la seva gestió forestal i la seva fenologia en l'entorn del Parc Natural del Montseny, i la seva significança com a serveis ecosistèmics, presència d'endemismes i la presència de pertorbacions biòtiques i abiòtiques particulars.
2. Millora en la determinació del comportament multiespectral de les cobertes forestals en l'àmbit d'estudi (*pattern recognition*) i crear llibreries espectrals de les seves signatures a partir de les imatges disponibles.

3. Anàlisi del cicle fenològic, la gestió forestal, i la vulnerabilitat de les masses forestals a partir de sèries temporals de les imatges multiespectrals de satèl·lit.
4. Elaborar cartografia temàtica de la dinàmica i canvis de les cobertes forestals seleccionades.
5. Aportar eines de suport a la decisió per a la millora en la gestió forestal.

2 ÀMBIT GEOGRÀFIC DE L'ESTUDI



Vista general del turó de Morou i al fons el turó de les Agudes, visó panoràmica d'una part de la zona d'estudi a l'hivern de 2006

(tècnica mixta, acrílic, fotografia i creta)

2.1 Introducció

Les formacions forestals a Catalunya són molt variades i abundants. Els estudis que relacionen les masses boscoses i l'Observació de la Terra tenen un clar biaix global i s'aproximen a l'obtenció de mapes de cobertes o usos del sòl en grans classes. Potser els més destacables són els que pertanyen a la sèrie del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya que s'ha anat actualitzant de forma intermitent i per diferents institucions al llarg del temps. En aquest estudi no es vol fer una visió estàtica d'una coberta forestal en un espai temporal concret, basat en un parell d'imatges de satèl·lit de dues èpoques de l'any, si no que es vol fer una anàlisi més exhaustiva d'una zona forestal concreta al llarg de finestres temporals, que ens permeti analitzar la gestió forestal i els possibles impactes meteorològics, climàtics o d'altres tipus. Es pretén fer anàlisis temporals de la coberta forestal, conegut com a *time series analysis*. Aquestes anàlisis necessiten de desenes o centenars d'imatges, que en projeccions a futur aniran augmentant per tal de caracteritzar un bosc al llarg del temps. Cal tenir un bon bancs d'imatges, ben calibrades, filtrades, georeferenciades, i computar càlculs estadístics amb integritat i de forma repetitiva.

Aquest escenari de disponibilitat de dades en Observació de la Terra a escales grans tot just s'està obrint camí i, per tant, i en el context del nostre estudi es basa en mostres representatives d'alguns boscos, on s'ha intentat obtenir els conjunts més exhaustius de dades d'Observació de la Terra possible de lliure accés.

En aquest sentit, s'ha considerat que el massís del Montseny és una bona zona d'estudi per molts factors. Em podríem destacar d'entrada tres, tot i que al llarg del treball anirem veiem molts d'altres avantatges.

.- El primer és la biodiversitat del Montseny, especialment en vegetació, que implica que en poc territori es troben masses forestals molt diverses i emblemàtiques del massís, però també representatives de Catalunya.

.- El segon és el fet de ser una de les primeres reserves naturals de Catalunya. De fet el massís del Montseny és reserva de la biosfera *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) des del 1978, per la seva singularitat en trobar-se entremig de la regió atlàntica i la regió mediterrània. Ha estat doncs una muntanya

tradicionalment molt estudiada. Hi ha molta literatura en forma de llibres, articles, informes de botànica, biogeografia, geografia que ajuden a comprendre millor el que s'estudia en aquesta Tesi i es considera un avantatge per a la recerca que ens ocupa (Panareda, 1991).

.- El tercer avantatge a remarcar es que en moltes zones del Montseny encara es conserva cert costum a seguir tasques forestals per millorar les masses boscoses. Aquest estudi permet fer un seguiment d'aquestes pràctiques al llarg del temps.

Pel que fa a la representativitat de la zona d'estudi en concret, s'ha escollit els vessant sud-est del turó de Morou per dues raons principals:

.- La primera és que en aquesta petita zona hi ha masses forestals representatives i molt diferents, fet que ens ajuda en dos sentits. Per un costat, en la descàrrega massiva d'imatges de satèl·lit, en concentrar-se en una zona i no en vàries, simplificant així els processos. Per l'altre, es que disposem d'informació pròpia que hem anat generant al llarg dels darrers 30 anys i que aporten les dades empíriques de la investigació científica que es porta a terme. De forma especial s'ha de destacar els diferents plans de gestió forestals anomenats com a Pla Tècnic de Gestió i Millora Forestal (PTGMF) i les renovacions que hem realitzat en bona part de les zones estudiades i l'actualització de dades dendromètriques fetes l'estiu del 2021 en les zones més interessants per l'estudi.

.- La segona raó és que totes les zones es troben dins dels PEIN, algunes són reserves naturals, altres són hàbitats protegits i endèmics i d'altres són boscos on la intervenció de l'home és més punyent, com les plantacions forestals intenses. A més, part d'aquestes zones van patir l'incendi forestal de l'any 1994 provocant la pèrdua de gairebé tot el capital forestal, mentre que d'altres no, els que ens dona un joc d'anàlisi rellevant.

Així doncs, les fonts d'informació de l'estudi es basen amb les imatges d'Observació de la Terra i les dades *in situ* que engloben tant l'inventari al camp com el seguiment de la gestió forestal. Aquestes diverses fonts comporten diferents nivells d'escala de treball basats en tres àrees geogràfiques que s'utilitzen en diferents fases de l'estudi.

.- La primera àrea geogràfica és el Parc Natural del Montseny. Per aquesta àrea s'han triat unes coordenades més amples formant un rectangle que recull tot el conjunt

montanyós del Montseny més enllà dels estrictes límits del Parc, a cavall de les comarques del Vallès Oriental, Osona i Selva. Com a conjunt global es pot dir que té una vegetació específica que es distribueix de forma repetida segons els seus vessants, orientacions i alçades i, per tant, qualsevol conclusió de l'estudi serà interessant de veure si es repeteix a nivell de tot el conjunt.

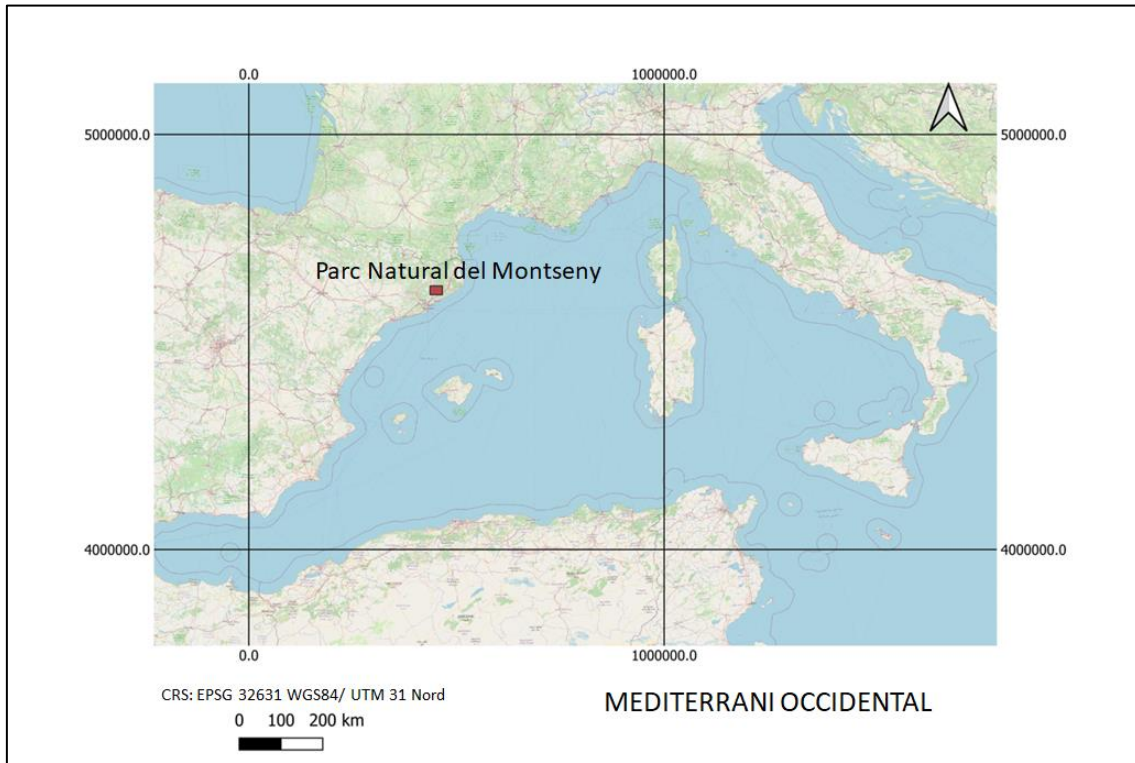


Figura 2-1: Situació del Parc Natural del Montseny dins la Conca Mediterrània Occidental

.- La segona àrea geogràfica és més concreta i engloba totes les àrees estudiades al detall. Per situar-la cal descriure més detalladament el Montseny. El Montseny està coronat per tres pics importants, el turó de l'Home (1.712 m), les Agudes (1706 m) i el turó de Morou (1.300 m). Tots tres encerclen la Vall de Sant Fe. Pel cantó de Morou es formen les rieres de Gualba i Riells entremig de turons destacats com el de Sant Helena i el de Montfort. En aquesta àrea geogràfica s'han triat els rodals i parcel·les d'estudi. La parcel·la més alta és la situada en el Pantà de Santa Fe a 1.087 metres d'altitud i la més baixa es troba a la pradera de Can Viader a 425 m. Excepcionalment, aquestes dues parcel·les no són forestals sinó que contenen cobertes pseudoinvariants com l'aigua del

panrà i el roquissar de la pedrera. Aquestes parcel·les jugaran un paper de control radiomètric en a la seva resposta espectral per a les imatges de satèl·lit estudiades.

.- La resta, fins a 23 àrees, són rodals forestals amb diferents tipologies de bosc característiques del Montseny, però també de molts boscos mediterranis. Gairebé tots els rodals estudiats es troben en la part nord dels municipis de Gualba i Riells, i només alguna comparteix part de la superfície amb el municipi veí d'Arbúcies. Els rodals han estat dividits entre principals i secundaris. Els rodals principals són 11, el quals tenen informació de camp i de la seva gestió forestal. La informació és obtinguda a partir de dos PTGMFs i les seves actualitzacions, i més tard pel treball de camp que s'ha realitzat durant l'estiu de l'any 2021. La resta de rodals són els secundaris, ja que es repeteixen en tipologia de boscos, però es té molt poca informació històrica de la seva gestió i evolució forestal. Aquests rodals seran les primeres zones a comparar amb els rodals principals.

En la Figura 2-2 es mostra la localització de les tres diferents àrees geogràfiques estudiades, que són l'àrea que engloba el Parc Natural del Montseny, l'àrea que engloba els rodals i les pròpies àrees dels rodals.

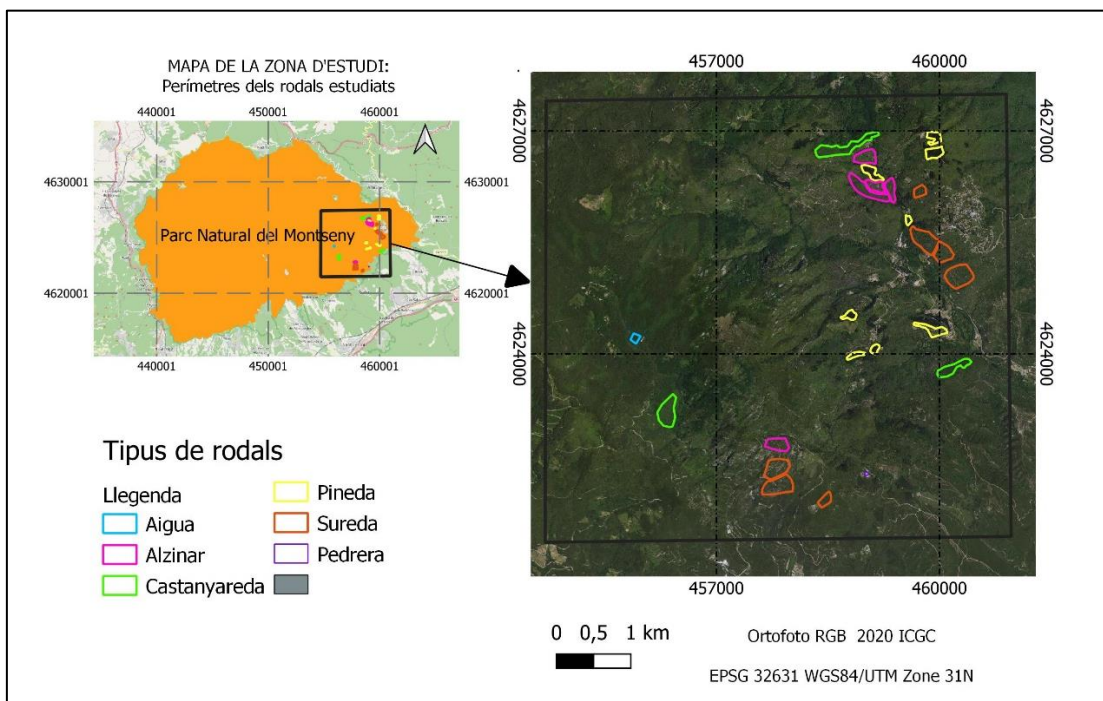


Figura 2-2: Àrees d'estudi del sud est del Montseny on s'indiquen els diferents rodals i àrees d'interès

2.2 Les zones boscoses dins l'àmbit d'estudi

La vegetació al Montseny es disposa en estatges molt definits segons el gradient altitudinal de la muntanya però no es distribueix exactament igual per cada estatge. Hi ha distribucions de vegetació molt diferents entre vessants que depenen essencialment de l'orientació i el pendent. En el perfil de vegetació de la Figura 2-3 es recullen els principals estatges descrits per Josep Ma Panareda en l'Atlas Nacional de España (IGN, 2018). Són:

- 1.-Bosc de ribera.
- 2.-Alzinar i sureda.
- 3.-Roureda de roure martinenc.
- 4.-Roureda de roure de fulla grossa.
- 5.-Fageda.
- 6.-Fageda amb avets
- 7.-Matollar de ginebró

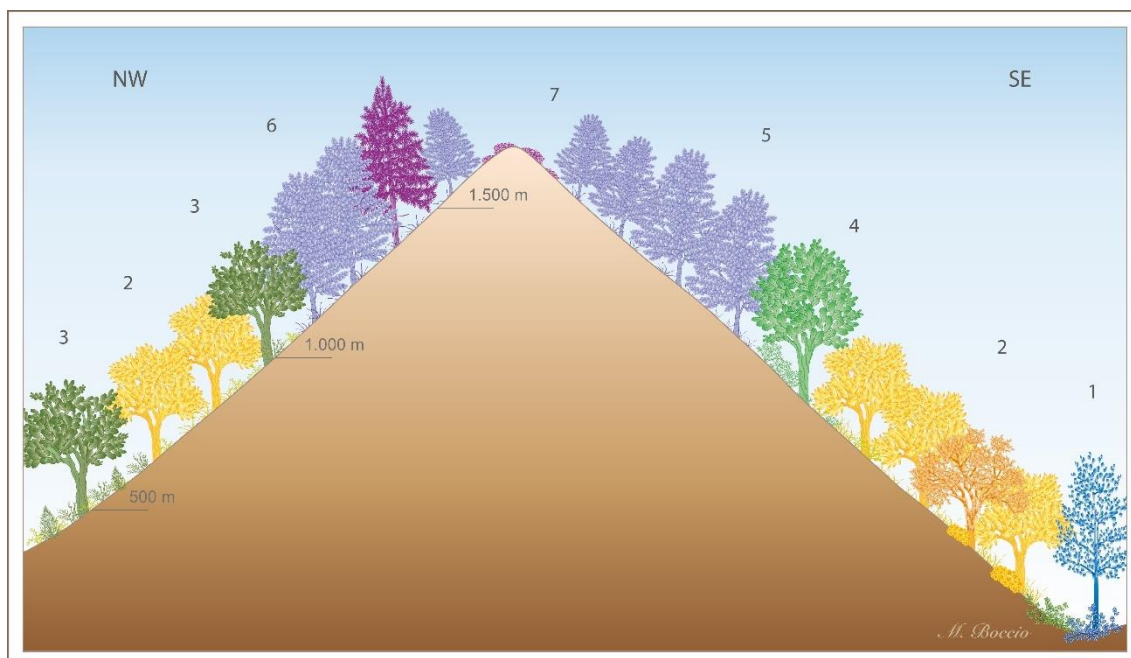


Figura 2-3: Perfil de vegetació del Montseny tret de l'Instituto Geográfico Nacional (2018). pàg. 126. Original de Josep M. Panareda i il·lustració de Maravillas Boccio.

L'àrea d'estudi d'aquest treball es trobaria entre l'estatge d'alzinar i suredes amb castanyedes en algunes obagues i l'estatge de roure de fulla grossa amb alzinar muntanyenc i castanyedes.

Aquests dos estatges recullen alguns dels hàbitats més comuns a la muntanya del Montseny, però també a Catalunya, segons la Cartografia d'Hàbitats a Catalunya elaborada dins del marc del programa general de Biòtops CORINE LAND COVER de la Unió Europea. El més ampli d'aquesta zona és l'hàbitat d'*Alzinars (boscos o màquies de Quercus ilex) muntanyencs* (codi 45e), seguit d'altres com les *Suredes amb sotabosc clarament forestal* (codi 45a) i els *Alzinars (boscos o màquies de Quercus ilex) de terra baixa* (codi 45c). En els tres casos són considerats hàbitats d'interès comunitari per la seva vàlua ecològica. També destacar que les castanyeredes estudiades es troben dins de l'hàbitat *Castanyedes, acidòfiles, de la muntanya mitjana i de terra baixa* (codi 41p) i també reconegudes com hàbitat d'interès comunitari i les pinedes de repoblació dins de l'hàbitat *Plantacions de coníferes* (codi 83f).

La Figura 2-4 recull l'àrea d'estudi amb els rodals i parcel·les i algun dels seus topònims per poder situar-nos amb la Cartografia d'Hàbitats de Catalunya i els seus codis, que ajuda a identificar les zones concretes dels rodals dins dels hàbitats en què es troben. La majoria d'ells coincideixen amb el seu hàbitat i altres són molt similars als que descriu l'hàbitat però pot haver canviat per la intervenció de l'home en tasques forestals o per l'incendi forestal de l'any 1994.

Molts dels rodals es situen en aquest estadi d'alzinar muntanyenc característic entre els 400 i 700 metres fins als 1.000 i 1.200 metres de cota, segons la inclinació i exposició dels vessants. En aquest hàbitat l'alzina és moltes vegades l'únic arbre present, d'altres és la dominant i comparteix l'espai amb l'alzina surera, el roure de fulla gran, el pi pinyoner i l'arboç, entre els més abundants. En la mateixa zona es poden trobar suredes on l'arbre dominant o únic és l'alzina surera. Aquestes formacions forestals han estat afavorides per l'acció antròpica, ja que tenen una viabilitat econòmica més alta per l'obtenció del suro.

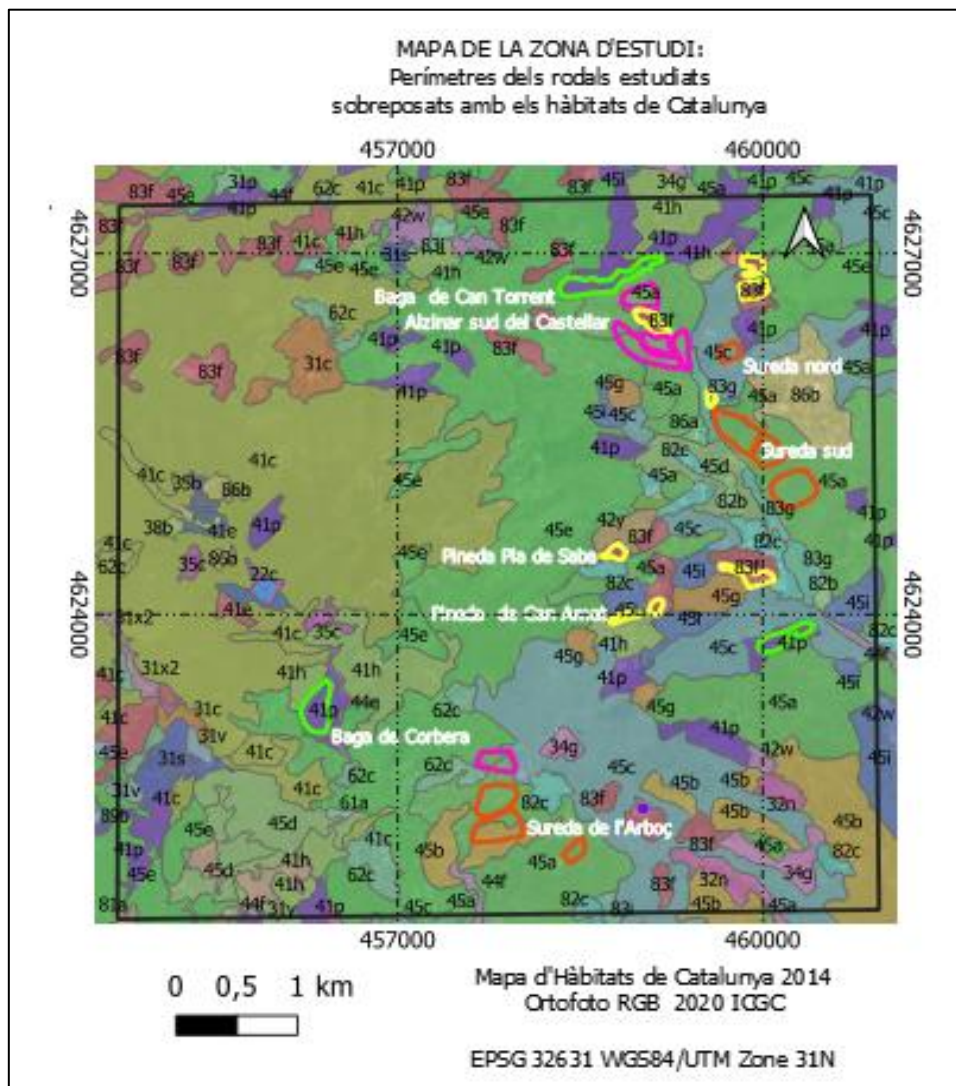


Figura 2-4: Mapa - Distribució dels hàbitats en la zona d'estudi segons la Cartografia d'Habitats de Catalunya (2014)

En aquestes zones també hi ha intervingut l'home des de fa unes quantes generacions. Es destacable les castanyeres de rebrot, en format baga o perxada segons la durada del cicle de tallada (Panareda, 1986). A nivell climàtic les castanyeres es van adaptar molt bé a aquesta zona del Montseny però en els darrers 60-40 anys s'han vist afectades per diferents malures que han perjudicat el seu desenvolupament forestal i fins i tot han provocat la mort dels arbres.

Les zones agrícoles que s'han anat abandonant des de la segona meitat del segle passat han estat, en alguns casos, repoblades per arbres de creixement ràpid com són les coníferes. En aquest sector s'han adaptat molt bé les plantacions de pi insigne.

En concret, els rodals seleccionats per l'estudi contempnen aquestes formacions forestals principals, els alzinars, les suredes, els boscos mixtes de les dues espècies arbòries anteriors, les castanyeredes de rebrot i les plantacions de pi insigne.

2.3 El clima i els fenòmens extrems

La zona d'estudi es situa a la muntanya mitjana del Montseny, entre el 400 i 1.000 metres d'altura amb un fort gradient altitudinal. De forma global, la zona es troba orientada entre el sud i l'est però la inclinació i orientació dels vessants provoca que cada rodal pot tenir orientacions i exposicions al sol i als vents molt diferents. Tots aquests factors també afecten a la diversitat climàtica i meteorològica de tota la muntanya i també a la zona d'estudi que es reflecteix clarament en diferents tipus de vegetació i densitats.

Obtenir paràmetres meteorològics de la zona d'estudi no és possible, ja que no existeix cap estació meteorològica o cap observador local que reculli els efectes locals del clima. Tot i així des del Servei Meteorològic de Catalunya s'han pogut obtenir dues sèries històriques de dues estacions properes prou interessants, tot i saber que no responen exactament a l'àrea d'estudi (*Sèries Climàtiques Històriques*, 2021).

La primera estació és la del Turó de l'Home-Puigsesolles situada a 1.668 m.s.n.m amb coordenades X UTM 453270, i Y UTM 4624795 (ETRS89 UTM 31N). La sèrie històrica conté les dades de temperatura màxima, temperatura mínima i precipitació per mesos des de l'any 1950 fins l'any 2018. Són 68 anys, una sèrie prou llarga per veure alguna tendència. Aquesta estació queda però molt per sobre de l'àrea d'estudi, més de 800 m per sobre del rodal més alt.

La segona estació es troba al municipi de Breda situada a 158 m amb coordenades XUTM 463111 i X UTM 4621813 (ETRS89 UTM 31N). La sèrie històrica només conté la mesura de precipitació mensual des de l'any 1950 fins el 2018 amb dades

normalitzades. Són els mateixos anys que l'estació del Turó de l'Home-Puigsesolles però en una zona molt més baixa que l'àrea d'estudi. Tot i així les considerem vàlides per ser comparades entre elles i veure les possibles tendències o efectes del clima.

Les temperatures anuals del Turó de l'Home van variant al llarg dels anys però les temperatures màximes de la sèrie temporal estudiada es situen entre els 10 i 11°C i les temperatures mínimes entre 3 i 4°C. Aquestes temperatures al cim de la muntanya són diferents als vessants del nostre estudi segurament amb temperatures un xic més altes. L'augment de temperatura no només es deu al gradient altitudinal sinó també per un conegut efecte local d'inversió tèrmica de la muntanya mitjana del Montseny a l'hivern que evita en bona mesura les glaçades (Llobet, 1947) .

La sèrie de temperatures mínimes i màximes permet estudiar les diferències tèrmiques al llarg del període. En una anàlisi d'anomalies pel mateix període s'observa com les temperatures de forma global han augmentat en els darrers decennis, tendència molt similar al conjunt de Catalunya (Servei Meteorològic de Catalunya, 2021) En la Figura 2-5 es recull la gràfica de les anomalies de la temperatura màxima anual del Turó de l'Home durant aquest període i es pot observar com hi ha hagut un increment mitjà gairebé de 2 °C.

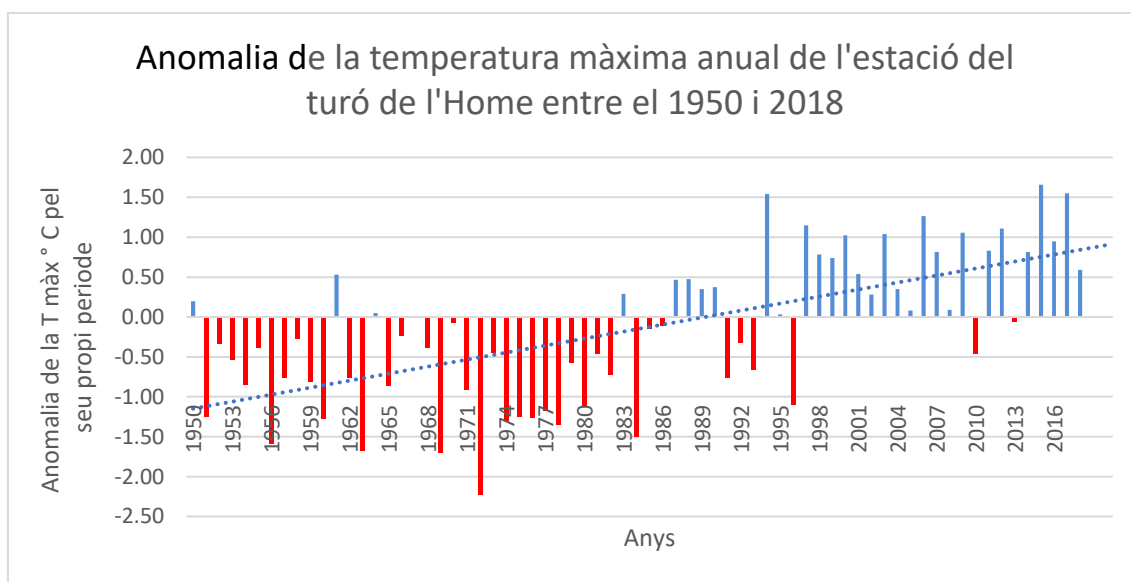


Figura 2-5: Evolució de les temperatures màximes de l'estació del Turó de l'Home (1950-2018) a partir de les anomalies del propi període. Font: SMC

L'increment de temperatura també s'observa per a les temperatures mínimes. En la Figura 2-6 es representen les anomalies de les temperatures mínimes del mateix període i confirma la tendència, bo i que l'increment de tot el període és menor, aproximadament 1 °C.

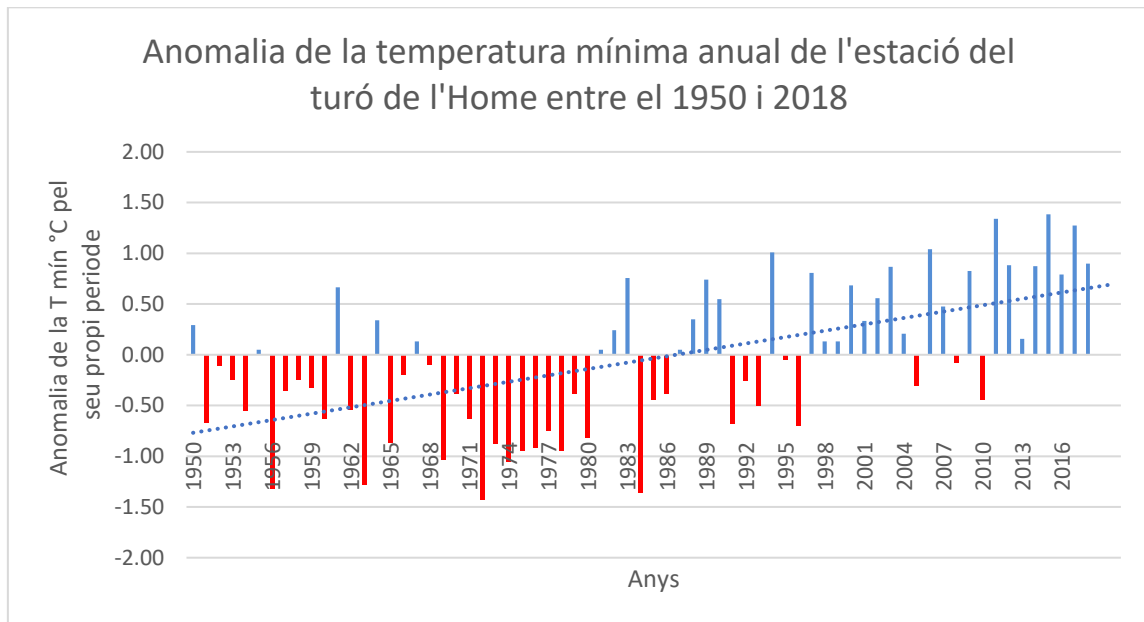


Figura 2-6: Evolució de les temperatures mínimes de l'estació del Turó de l'Home (1950-2018) a partir de les anomalies del propi període. Font: SMC

Les precipitacions pel mateix període han estat comparades per les dues estacions tal i com es pot veure en la Figura 2-7. En les dues estacions es pot observar que les precipitacions són molt irregulars, propi del clima mediterrani, però es pot observar com les precipitacions són més abundants en l'estació meteorològica de la cota més alta. De fet, la precipitació mitjana per tot el període és de 1061.7 mm pel Turó de l'Home mentre que per Breda és de 793.7 mm confirmant que les zones més altes tenen aportacions d'aigua més elevades. Per tant, les precipitacions a l'àrea d'estudi es troben probablement entre aquest dos intervals.

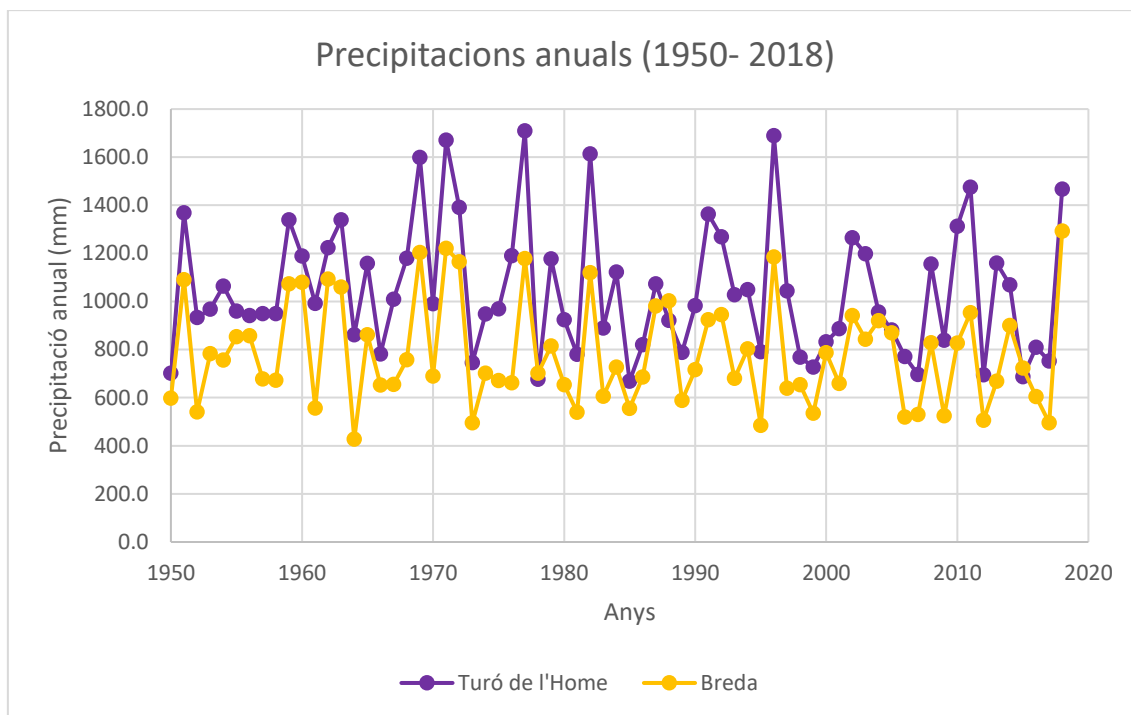


Figura 2-7: Evolució de les precipitacions anuals en les estacions del Turó de l'Home i Breda per el període entre l'any 1950 i 2018. Font: SMC

La combinació de temperatura mitjana i precipitació total de forma mensual la podem realitzar amb les dades de l'estació del Turó de l'Home amb gràfiques ombromètriques. En aquestes gràfiques obtindrem una idea global del regim de temperatures i pluges al llarg de l'any on es confirma que les pluges més abundants són a la primavera i la tardor i les temperatures més altes són a l'estiu i les més baixes a l'hivern. Però la supervisió en detall de les variacions d'alguns anys ens pot ajudar a entendre fenòmens extrems com l'incendi del 1994.

En la Figura 2-8 es recullen dos climogrames per dos anys diferents i es pot veure com el règim de pluges a la primavera és molt més escàs per l'any 1994. Aquest període de sequera extrema, provoca una falta de disponibilitat d'aigua per a la vegetació i, per tant, totes les masses boscoses més o menys resistents a la sequera es veuen afectades. En el cas de l'incendi de l'estiu de 1994 la propagació encara va ser més severa amb una vegetació molt seca.

Climogrames per l'any 1994 i 2018 en l'estació del Turó de l'Home

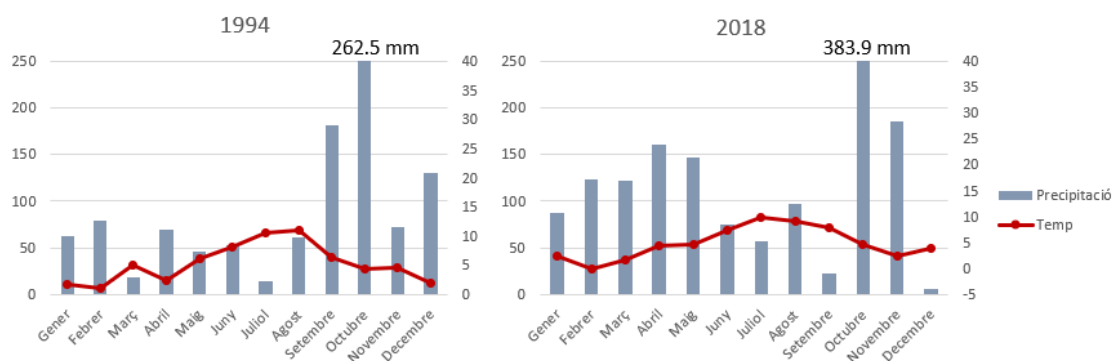


Figura 2-8: Evolució anual de temperatures i precipitacions per l'any 1994 i 2018 a l'estació del Turó de l'Home

La zona d'estudi no és una zona habitual de nevades, quan es produeix, sol ser neu molt lleugera i puntual, moltes vegades no arriba ni a quallar al terra. En canvi quan la nevada és molt quantiosa podem parlar d'un fenomen extrem. Per al període d'estudi, entre el 1994 i el 2020, cal destacar la gran nevada del 7 de març del 2010 que va afectar bona part de Catalunya però en especial contundència a les comarques de Girona. En la part oriental de la zona d'estudi, en la zona de Riells del Montseny i Arbúcies les quantitats van ser més altes que la zona més occidental, la part de Gualba, però la neu va ser present més de 15 dies al territori. Aquest efecte meteorològic serà objecte d'estudi en l'anàlisi de les dades de satèl·lit. Altres fenòmens extrems o episodis concrets que han succeït són ventades, esclafits, ones de fred i de calor, que caldrà veure quina incidència tenen sobre la vegetació i si seran detectables en el marc de la recerca. El recull d'aquests episodis s'ha fet a partir del coneixement propi i de la recerca en publicacions com premsa local, estudis puntuals de les administracions competents en la matèria com el Servei Meteorològic de Catalunya, etc.

Els fenòmens extrems més rellevants es detallen en la Taula 2-1. Es probable que localment n'hagin succeït més però no es té constància escrita.

Taula 2-1: Episodis meteorològics concrets i excepcionals entre l'any 1994 i 2020 en l'àrea d'estudi

Data	Episodi	Afectació a l'àrea d'estudi	Font d'informació
10 d'agost 1994	Incendi forestal	Parcial. Afecta els rodals en cotes més baixes	Pròpia i informes d'administracions
7 de març 2010	Gran nevada	Total	Pròpia i premsa local i nacional
13 de febrer 2012	Onada de fred 10 dies	Total	Pròpia, SMC, premsa local
30 de gener 2015	Fortes ventades	Total. Estació turo de l'Home 151 km/h	Premsa local, SMC
8 de febrer 2018	Nevades a la Selva	No es pot comprovar	Premsa local, SMC
23 d'octubre 2019	Esclafit	Parcial. Zones afectades i altres no	Premsa local
19-23 de gener 2020	Temporal Glòria	Total. Alguns rodals afectats per desmunts	Pròpia i informes d'administracions

2.4 El relleu i els sòls

El relleu del Montseny està format per tres conjunts muntanyosos, el Turó de l'Home, el Matagalls i el pla de la Calma, tots ells formats en l'era paleozoica fa més de 280 milions d'anys. El Turó de l'Home i tota el vessant est es troba el Turó de Morou i els vessants de la zona d'estudi entremig de la riera de Gualba i la riera de Riells i zones de fort pendent i formades per roques ígnies, especialment de granit. Només el rodal de la Baga de Corbera, per sota Santa Fe, s'han detectat alguns trossos d'esquist. En algunes zones també hi ha petits aflorament de marbres.

Sobre totes aquestes roques hi ha uns sòls molt similars en tota l'àrea d'estudi classificats segons la Soil Taxonomy com a Udorthents lítics: *Són sòls desenvolupats a partir de roques de diferents litologies a les divisòries i vessants de pendent fort en diferents indrets, entre ells el Montseny. Es tracta de sòls molt superficials, poc profunds, ben drenats amb textures moderadament grosses i abundants elements grossos. Són sòls amb poc desenvolupament edàfic, tot i que a algunes zones més estables es pot desenvolupar un horitzó superficial més fosc, amb un contingut abundant de matèria orgànica que dona lloc a un epipedió umbric. El pH és de fortament a lleugerament àcid. Sòls sense carbonats i presenten una saturació en bases inferior al 50%.* (WMS Sòls. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, n.d).

Per confirmar aquesta composició s'han realitzat 3 perfils al camp en el rodal 24 Sureda de la Mel i s'han analitzat algunes de les propietats més bàsiques en camp i laboratori en aquest punts d'anàlisi. Els resultats es comparen amb el descrit per la Soil Taxonomy. Amb els perfils podem comprovar al camp el que diu la descripció de la USDA sobre els *Udorthents litics*.

El primer que veiem és que es tracta de sòls poc desenvolupats, que no arriben a tenir un horitzó B d'acumulació (o endopedió) totalment clar, com a molt, un horitzó de transició a C. Podem corroborar que són sòls amb un contingut gran de matèria orgànica fresca (Aoo) i Fermentació (Ao). Horitzons foscos i negres. Aquest sòl orgànic superficial facilita el bon drenatge i la seva capacitat d'infiltració.

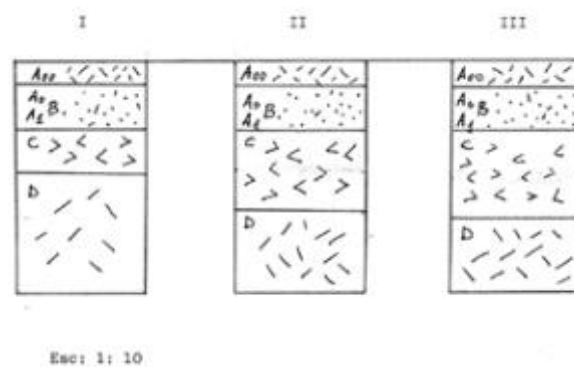


Figura 2-9: Esquema dels tres perfils realitzats a l'àrea d'estudi (any 1989)

En aquests tres punts també es van agafar mostres per analitzar la granulometria i textura, la matèria orgànica i el pH.

Per conèixer la granulometria i la textura s'ha fet servir el mètode de tamització. La matèria orgànica s'ha analitzat mitjançant calcinació i el pH mitjançant pHímetre en solució 1/2.5.

La mitjana d'elements grollers (> 2mm) és de 45.4% del total de la mostra, el que correspon a un 54.6% de Terra Fina (<2mm). La mitjana de textura del sòl de les 3 localitzacions és segons la nomenclatura de la USDA (1938) "franco-sorrenca". Això correspon a sòls amb una bona infiltració i aireació i una regular retenció d'aigua i capacitat de formació d'estructures edàfiques.

La mitjana de matèria orgànica dels tres perfils és de 11.1% (mínim 9.5 i màxim de 14.0%). Segons (Cobertera, 1993) aquest contingut de matèria orgànica correspon a sòls típics forestals amb un gran contingut de matèria orgànica. És normal aquest contingut donat el espessor de la capa orgànica representada amb els horitzons Aoo i Ao. Correspondria com diu la definició de la Soil Taxonomy amb un epipedió úmbric. Aquests sòls solen tenir relació C/N de 12 a 15, o sigui amb un humus moll forestal.

Pel que fa al pH del sòl, que ens diu si un sòl és àcid, bàsic o neutre, el valor de pH dels 3 perfils ha estat de 6. Segons USDA-SCS, (1971) publicat a (Porta et al., 1994), un pH de 6 es considera mitjanament àcid. És un pH que permet l'absorció de la majoria de nutrients. En aquest valor, el nitrat, potassi, fòsfor, magnesi, sofre, coure i bor, tenen el major rang d'absorció. Aquest valor de pH analitzat a les mostres de l'àrea d'estudi coincideix amb el descrit per la Soil Taxonomy, o sigui amb una saturació en bases (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ i K^+) menor del 50%.

3 ANTECEDENTS I ESTAT DE L'ART



Rodal 14: Papallona anomenada Bruna de muntanya (*Hyponephele lycaon*) determinada segons el *Catalan Butterfly Monitoring Scheme*. Freqüenta els prats de Can Amat i es trobava en la plantació dels pins insignes durant els primers anys.

<https://www.catalanbms.org/ca/especies/sathly/> Estat segons IUCN: vulnerable

(tècnica mixta, acrílic, fotografia i creta)

3.1 Introducció

Des dels inicis en les capacitats d'obtenir imatges multiespectrals des de plataformes de satèl·lit d'Observació de la Terra, s'han emprat dos grans mètodes per estudiar les cobertes del sòl, ens referim a la fotointerpretació i a l'anàlisi digital de les imatges o processament automàtic amb els seus avantatges i desavantatges, i en molts casos les seves interaccions. Per un costat, la fotointerpretació on l'expertesa de l'intèrpret conformada pel que veu l'ull humà i el seu coneixement sobre el territori, objecte de l'estudi, pot interpretar les cobertes del territori sobre la imatge, però amb una clara desavantatge i és que l'ull humà només pot interpretar la barreja de tres colors, en aquests cas de tres bandes o càlculs de bandes. Per una altra banda el processament automàtic o *Machine processing* conforma tot un conjunt de mètodes, algorismes i processos de càlcul per analitzar digitalment les imatges que compta amb una sèrie d'avantatges respecte a la fotointerpretació. Entre els avantatges més destacats poder extrapolat el mètode a grans àrees geogràfiques en costos més baixos o poder incloure totes les bandes multiespectrals si s'escau en el càlcul (Campbell, 1987)

Aquests processos digitals s'han anat diversificant i sofisticant al llarg del temps però es basen en l'anàlisi de la resposta espectral de cada banda de la imatge. A nivell de l'estudi de la vegetació esdevé d'especial rellevància la multiespectralitat en la part de l'espectre de l'infraroig, ja que com veurem en la Tesi és on la reflectivitat és major, i amb un rang dinàmic de valors més ampli per poder estudiar millor la seva dinàmica.

Així doncs la majoria dels satèl·lits passius d'Observació de la Terra, aquells que recullen el senyal derivat de la il·luminació del sol sobre els objectes, situen les bandes prioritàries en l'espectre visible i l'infraroig proper per poder estudiar la vegetació entre altres cobertes. En són un bon exemple les imatges Landsat i Sentinel-2 que estudiem en aquesta Tesi.

En la Figura 3-1 es mostra de forma esquemàtica la signatura espectral de la vegetació sana i on es troben situat els centres espectrals de les bandes del sensor Sentinel 2 L2A.

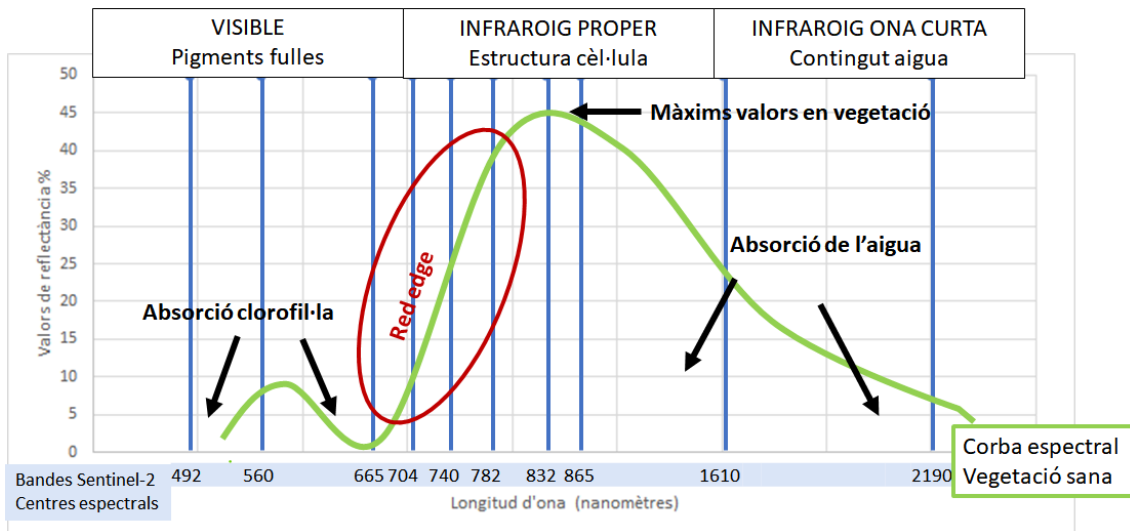


Figura 3-1: Esquema de la resposta espectral de la vegetació en les zones de l'espectre visible, infraroig proper i d'ona curta

La banda del verd de l'espectre visible es situa als 560 nanòmetres (nm) i és on la vegetació té la resposta espectral més alta, mentre que les bandes del blau als 492 nm i del vermell als 665 nm de l'espectre visible tenen un senyal molt baix degut a l'absorció de la clorofil·la de les fulles. Quan més resposta es doni en la zona del verd i menys en la zona del blau i vermell, més vigor, i més sana està la vegetació. A partir del vermell s'inicia la part no visible (a l'ull humà) amb l'infraroig proper, on la vegetació sana reflecteix amb proporcions molts més altes que en el verd. De fet, en l'infraroig s'arriba al pic de la reflexió de la vegetació. La zona espectral d'aquest ascens sobtat és molt estreta i es troba entre el 680 i 740 nm amb increments del senyal que poden arribar a més del 50%. En la bibliografia especialitzada es parla d'aquesta zona espectral com a vora vermella o *red edge* en anglès. Aquesta zona de canvi ha estat extensament usada per calcular índexs de vegetació associats a l'activitat fotosintètica de la vegetació (Jackson & Huete, 1991), (Bannari et al., 1995), (Xie et al., 2018). En el moment en que la vegetació pateix sequera, alguna plaga, infecció o alguna reducció de la massa, entre d'altres motius, la resposta es redueix en els valors la zona del verd i infraroig i en canvi augmenta en el vermell (Garrity et al., 2013), (Hoshino et al., 2018). En la zona del infraroig d'ona curta la vegetació es veu més marcada per la presència o no de contingut d'aigua. Alguns índexs utilitzen aquestes bandes per estudiar la sequera, l'estrès hídric, les zones cremades o les zones humides entre els temes més estudiats (Vogelmann, 2007).

La relació d'aquestes característiques físiques de la vegetació i la seva resposta espectral al llarg del temps a partir de col·leccions d'imatges de satèl·lit formen part de la recerca d'aquest treball per estudiar les masses boscoses. Però primer de tot cal veure que s'ha fet fins d'ara i d'on partim.

L'estudi de la vegetació a partir de les seves bandes espectrals, els seus càlculs derivats com els índexs de vegetació o les classificacions utilitza programari específic de procés d'imatge o d'altres programes més generals basats en Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG) que permeten fer els càlculs i aplicar-los al conjunt del territori estudiat. Aquests programaris avancen contínuament i molts d'ells també són d'accés gratuït. Es farà un breu repàs al programari que en el marc d'aquest treball s'han utilitzat o analitzat i que considerem més indicats per estudis en teledetecció de boscos.

3.2 Situació actual dels estudis en teledetecció dels boscos

Actualment l'estudi de boscos a partir de les dades d'Observació de la Terra és fruit de l'experiència acumulada d'estudis precedents des dels anys 80 del segle passat que relacionaven la vegetació i les dades obtingudes de les imatges de satèl·lit disponibles.

Des d'una visió amplia, els boscos han format i formen part de les cobertes recollides en molts mapes temàtics, tant de caire més general com més especialitzats. Una de les primeres explotacions temàtiques de les dades de satèl·lit han estat el mapes des de cobertes i usos del sòl que, a escales molt diferents, s'han realitzat per fotointerpretació o per classificació automàtica. A Catalunya tenim un bon exemple en el Mapa d'Usos del Sòl (ICGC) que es va realitzar a finals dels anys 80 fins a principis dels 2000 amb les diferents col·leccions de les imatges de satèl·lit Landsat a escala de treball 1:100.000 a partir de classificacions supervisades. Dels anys 90 fins l'actualitat també cal citar el Mapa Corine Land Cover (CLC) de la Unió Europea realitzat per fotointerpretació que va usar les sèries Landsat durant totes les edicions anteriors i que actualment ja utilitza les imatges Sentinel-2 com a font principal. Tot i que aquests mapes van comportar un esforç important en incloure els principals tipus de masses forestals en les seves llegendes, les escales de treball eren o són molt petites per prendre decisions i accions concretes al camp.

En l'actualitat han aparegut algunes versions més especialitzades en la cartografia temàtica de les masses forestals. Per afinitat al treball de Tesi en destacarem tres productes o serveis. El primer és el mapa o capa forestal del programa Copernicus anomenat *Hight Resolution Layer Forest Type (FTY)* amb imatges Sentinel-2 de l'any 2018 publicat el 2020 que cobreix tota la Unió Europea. Aquesta capa usa el nivell de procés L2A de les imatges del Sentinel-2 amb informació de camp de la base estadística *Land use and land cover survey (LUCAS, Eurostat)* de l'any 2018 i s'ha classificat amb l'algoritme *Random Forest* amb una resolució de píxel de 10 metres (*Forest Type 2018 — Copernicus Land Monitoring Service, 2020*). En aquesta capa es distingeixen dos tipus de cobertes forestals, els boscos de fulla ample o frondoses i els boscos de coníferes. A nivell del l'àrea d'estudi del Montseny significa que la classe de boscos de fulla ample inclou tant els boscos planifolis com els roures i els faigs i els boscos d'escleròfil·les que inclouen les alzines i les alzines sureres i que la classe de coníferes inclou els pins insignes, pins pinyers i avets de Douglas com els més predominants. En definitiva, es representen dues classes dins de l'àrea d'estudi per l'any 2018. En la Figura 3-2 es mostra el geoportal del producte temàtic que genera Copernicus situat aproximadament a la nostra àrea d'estudi on hi han els rodals i es pot observar que es una coberta molt general malgrat la pluralitat de boscos de la zona.

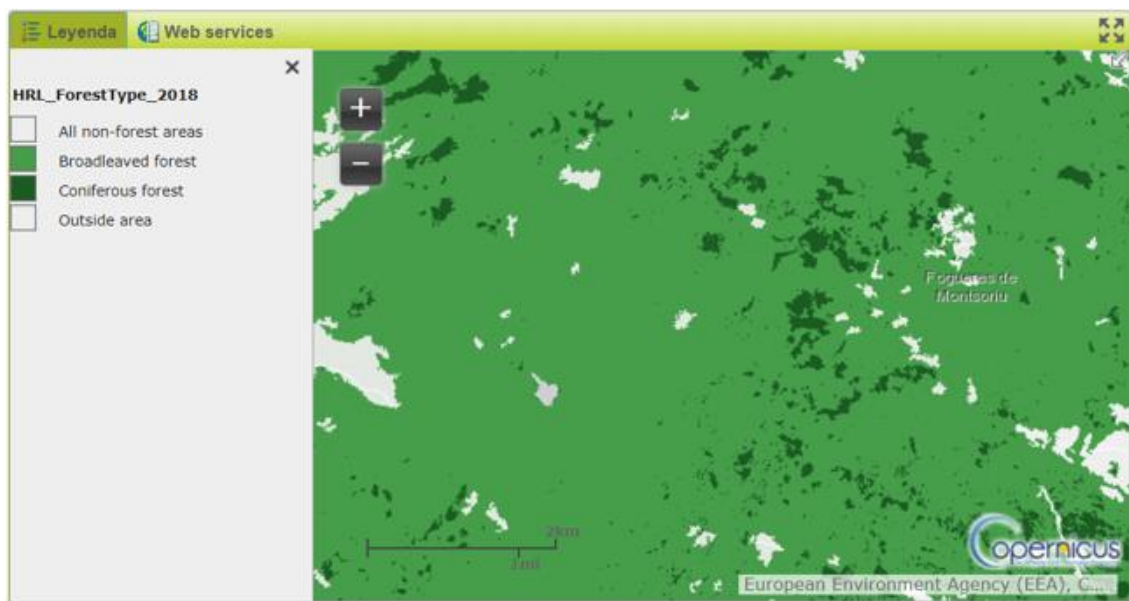


Figura 3-2 Capa d'alta resolució amb dues classes forestals de la EEA Copernicus Land monitoring Service en la zona d'estudi del Montseny.

Existeix una altra capa de cobertura mundial, molt actualitzada i realitzada per la plataforma online *Global Forest Watch* (GFW) que usa les imatges Sentinel-2 i les imatges Landsat a partir l'índex de vegetació NDVI d'aquestes imatges i enriqueix el producte a partir d'altres imatges que es puguin aconseguir de més alta resolució per realitzar el seguiment de les zones forestals arbrades del món. Especialment realitza el seguiment d'incendis forestals, desforestació o creixements de la massa forestal. Per tant, no només és una capa estàtica a una data concreta sinó que dóna estats de canvis i anomalies entre anys. Introdueix i aporta, per tant, un valor afegit a l'estudi de la dinàmica dels boscos. En la Figura 3-3 es mostra el geoportal del GFW aproximadament en l'àrea d'estudi dins el Montseny amb la coberta forestal i les zones de canvi. La capa és molt interessant per què recull la dinàmica de la coberta forestal vista des dels satèl·lits però no fa cap tipus de classificació de masses forestals diferents.

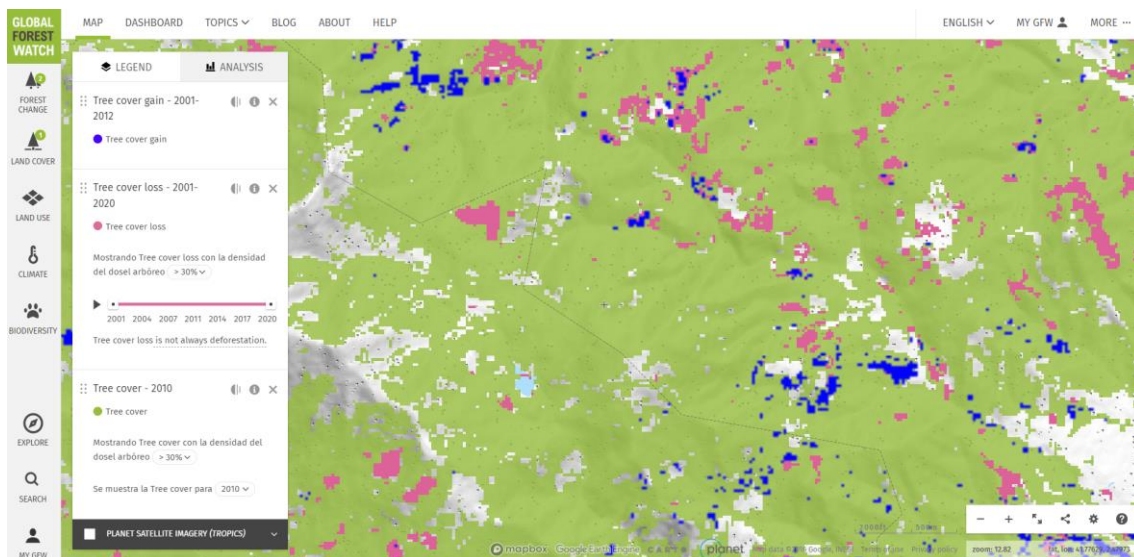


Figura 3-3: Capa d'alta resolució amb la capa forestal i els canvis del GFW en la zona d'estudi del Montseny

Altres iniciatives com el grup TerraPulse que també genera algunes cobertes forestals a nivell d'alta resolució a partir de dades de satèl·lit, assoleix tant sols un mapa de cobertes d'arbres genèric a 30 metres de resolució espacial sobre la nostra àrea d'estudi, a diferència d'altres zones, com als Estats Units, on sí es diferencien els boscos caducifolis dels perennifolis, usen índexs de vegetació i incorporen també cobertes de pèrdues i guanys de la massa forestal.

A nivell d'escala regional o local en un context més mediterrani hi ha estudis relacionats amb les masses forestals i la seva anàlisi a partir d'imatges de satèl·lit però en són, en nombre i abast, força limitats. S'han portat a terme treballs sobre el *Quercus suber* a la regió de Calabria a Itàlia que estudien la seva detecció a partir les imatges Landsat 8 i posteriorment combinant Landsat 8 i Sentinel 2. El mètode usat és a partir d'imatges corregides atmosfèricament, es calculen els índexs de vegetació i es porten a terme classificacions multiespectrals amb les bandes i els índexs amb diferents algoritmes. Al final conclouen que les imatges del Sentinel-2 discriminen millor el *Quercus suber* gràcies a la presència de més bandes a l'infraroig i en especials a la zona del *red edge* en comparació a les imatges Landsat 8 (Modica et al., 2016) (Modica et al., 2018).

Un estudi, en aquest cas certament interessant en l'ús de diferents índexs de vegetació del Sentinel-2 per avaluar el decaïment el *Quercus suber* el trobem a Portugal on es conclou i quantifica una correlació molt clara entre la precipitació i l'augment de resposta espectrals tant pel arbres vigorosos com pels arbres que es troben en decaïment (Navarro et al., 2019).

A nivell de Catalunya, es va realitzar el projecte LIFE-SUBER on es dedicà una petita part a l'estudi de la gestió forestal del *Quercus suber* a partir de les diferències de l'índex NDVI calculat amb imatges Landsat i Sentinel-2 entre dues dates, considerant que és una bona eina per avaluar la gestió forestal (Mundet, 2018).

Un dels articles recents més concloents és el que fa referència a la classificació de diferents tipus de bosc mediterrani a la Toscana (Itàlia) amb imatges Sentinel-2. L'estudi vol discriminar boscos de faig, de castanyers, d'avets, i mixtes de roures i alzines i considera que amb les imatges d'estiu no és possible per la similitud de la resposta espectral de les diferents espècies, però obté bons resultats (83% d'encert) amb classificacions amb imatges d'hivern, primavera i estiu, contemplant així els canvis fenològics de cada espècie.

Aquest breu recull de referències actuals, ens mostra que a nivell regional o local l'estudi dels boscos a partir de les imatges de satèl·lit és, quan menys, complexa. Com hem descrit a la introducció d'aquest capítol, la vegetació es pot detectar molt bé en algunes bandes de l'espectre i especialment en l'infraroig. Situats però ja dins les

cobertes vegetals, la resposta espectral de la vegetació ofereix molt altes confusions espectrals entre diferents tipus de vegetació i una forta dependència multifactorial, meteorologia, clima, gestió o tipus de sòls, entre d'altres.

Les confusions espectrals en la vegetació més habituals són:

- **Entre espècies d'arbres:** Hi ha diferents tipus d'arbres que tenen una resposta espectral similar. Per exemple, els arbres perennifolis, que no perden la fulla, tenen una signatura espectral similar entre ells. Aquesta similitud espectral la podem veure en aquesta Tesi amb el gènere d'arbres com els *Quercus* o *Pinaceae*.
- **Entre tipus de matollars:** Les formacions arbustives encara poden tenir una confusió espectral més alta perquè moltes vegades estan formades per arbustos i herbes amb respostes espectrals diferents creant una heterogeneïtat molt més elevada que la capa arbòria.
- **Entre els boscos i els matollars i, fins i tot, amb els prats i herbassars:** La similitud espectral entre totes aquestes cobertes pot provocar grans confusions, per exemple els prats de muntanya quan estan mitjanament actius podent tenir respostes espectrals similars als boscos caducifolis. Si no es coneix l'alçada d'aquestes elements naturals sobre el territori les confusions poden ser greus o molt greus segons l'escala de treball que estudiem.

Així doncs, aquests elements naturals com els boscos, els matollars, els prats i els herbassars que es poden confondre en l'estudi d'una sola imatge, necessita noves vies de discriminació com pot ser l'estudi de la component temporal. Si el mateix territori el veiem moltes vegades al llarg del temps, podem observar de forma gradual si es manté una mateixa coberta forestal o canvia en el temps. Des de fa anys s'està treballant en sèries temporals d'imatges per poder determinar la vegetació, discriminar-la i analitzar-ne els seus canvis.

Els estudis dels boscos a partir de les sèries temporals són cada vegada més abundants. Aquests poden ser de diferents tipus, alguns es basen només en la comparació dels valors radiomètrics de les imatges, altres, molt habituals, a partir d'índexs de vegetació i

altres tot comparant els productes derivats després de l'aplicació d'algun model o d'alguna classificació.

Però les sèries temporals en l'estudi de la vegetació podran tenir resultats clars si de forma prèvia s'han sabut definir exactament les cobertes del sòl que busquem i això no és fàcil de definir. Peter Strobl investigador del Joint Research Centre (JRC) i expert en productes Land de Copernicus considera que per definir correctament una coberta del sòl de la superfície de la Terra cal diferenciar de forma correcta el que es desitja estudiar. Primer de tot cal descriure correctament la superfície a buscar, considerar el seu context espacial en les tres dimensions, per exemple la mida, la forma i la composició dels objectes on l'escala més petita són els píxels i el context temporal defineix el canvi de la superfície al llarg del temps (Strobl, 2019). Seguint aquesta direcció, en la Tesi no es pretén resoldre tota la complexitat de les cobertes forestals, sinó que es definiran a partir i gràcies a la rellevància de la informació de camp, recollida en el marc d'aquesta Tesi, un seguit de masses arbrades per què puguin ser detectades i diferenciades a partir d'imatges de satèl·lit adequades. Especialment es consideren aquelles imatges que tenen informació a l'espectre visible i infraroig on la vegetació té una resposta espectral més bona i un alt grau de revisita per poder estudiar el comportament cíclic durant l'any.

3.3 Eines d'anàlisi geoespacial

Per realitzar el treball de camp i l'anàlisi de les imatges de satèl·lit s'han usat materials, eines i programari a l'abast de qualsevol investigador, tots de caràcter gratuït i d'accés obert, el que constitueix una de les premisses d'aquest treball.

A nivell de treball de camp les eines han canviat substancialment al llarg d'aquest estudi. Quan es van començar els treball de camp l'any 1994 calia comprar tots els mapes topogràfics, estàvem pendents de la publicació de l'ortofotomapa de l'ICC en blanc i negre a escala 1:5000 per imprimir-lo i portar-lo a camp. Es treballava en còpies de fotogrames de fotografia aèria. Quan recollíem les dades en el camp les passaven a net al despatx; per una banda, en fulls de càlcul de programaris de versions antigues del SPSS i d'Excel i, per un altre, dibuixàvem el mapes amb programaris de disseny gràfic

com el *Freehand*. La majoria del programari era de pagament. El clinòmetre i brúixola van ser comprats i els sistemes del Sistema de Posicionament Global (GPS) per prendre ubicacions correctes no estaven al nostre abast. Les localitzacions eren a bell ull. Amb els anys, la instrumentació de camp per realitzar la dendrometria dels arbres ha canviat molt. En el capítol 4.2.3 es detalla concretament el que hem fet servir en el darrer treball de camp, però cal destacar uns canvis substancials com les mesures de posició, orientació altura i pendent en el terreny i el recull fotogràfic es poden prendre de forma molt fàcil amb un mòbil “intel·ligent”. Fins i tot, si hi ha cobertura de dades mòbil es poden incloure programaris amb cartografia i dades associades per incorporar les mesures fetes al camp tant en un mòbil com en un ordinador. El sistema GPS, la càmera fotogràfica, i altres sensors ja van incorporats al mòbil i es troben programaris gratuïts que fan la funció de clinòmetres i brúixoles per prendre les mesures principals de localització.

Aquests avenços només es veuen limitats quan et trobes en zones de muntanyes com l'àrea d'estudi on no hi ha cobertura mòbil, aleshores hem treballat amb GPS via satèl·lit i amb programari *offline* gratuït.

3.3.1 Sistemes d'Informació Geogràfica i eines de tractament d'imatge

Les dades recollides al camp, la seva descàrrega, tractament i explotació de les imatges de satèl·lit s'ha realitzat a partir de programaris d'accés obert i gratuïts que proporcionen el conjunt d'eines per realitzar tota l'anàlisi.

Per a la descàrrega i tractament d'imatges existeixen molts portals i programaris lliures que faciliten les tasques. Habitualment els proveïdors d'imatges gratuïtes posen a l'abast la seva informació amb portals i programari de lliure accés. Al llarg d'aquesta Tesi s'han treballat diferents imatges de satèl·lit, especialment imatges Landsat, i Sentinel-2 però també s'han fet descarregues d'imatges de Sentinel-1, Sentinel-3 o imatges hiperespectrals PRISMA i per a totes elles s'han cercat portals de descàrrega gratuïts. Normalment només cal registrar-se com a usuari. Per exemple, les imatges de la missió Landsat de la NASA es poden descarregar des de molts portals o entorns, per aquest treball només s'ha fet servir un únic portal proporcionat per al USGS nomenat

Earth Explorer on es troben actualitzades les imatges Landsat junt amb totes les col·leccions històriques i on s'afegeixen les millores i tractament de les imatges realitzades per al mateix USGS. En el cas de les imatges de la missió Sentinel-2 del Programa Copernicus de la ESA s'han baixat del mateix portal *Copernicus Open Access Hub* que ha permès baixar només les imatges de l'àrea d'interès des de l'inici de la col·lecció. A més l'ESA també posa a l'abast de l'usuari el programari SNAP per els tractaments d'imatges, en el cas que ens ocupa amb les caixes d'eines per les imatges Sentinel-1, Sentinel-2 i Sentinel-3. Per a les imatges Sentinel-2, que s'han usat àmpliament en aquest estudi, es van realitzar diferents tasques prèvies encadenades dins d'aquest software com subescenes, canvis de resolució de píxel, selecció de bandes a partir de la construcció de models i l'enviament a execució dins d'una tasca encadenada d'imatges. El programari SNAP s'actualitza periòdicament per donar una servei cada vegada més ampli a l'usuari.

En la Figura 3-4 es mostra un exemple d'imatges Sentinel-2 carregades al programari SNAP on es pot obtenir informació gràfica de les bandes espectrals, entre moltes de les opcions d'anàlisi i procés que conté.

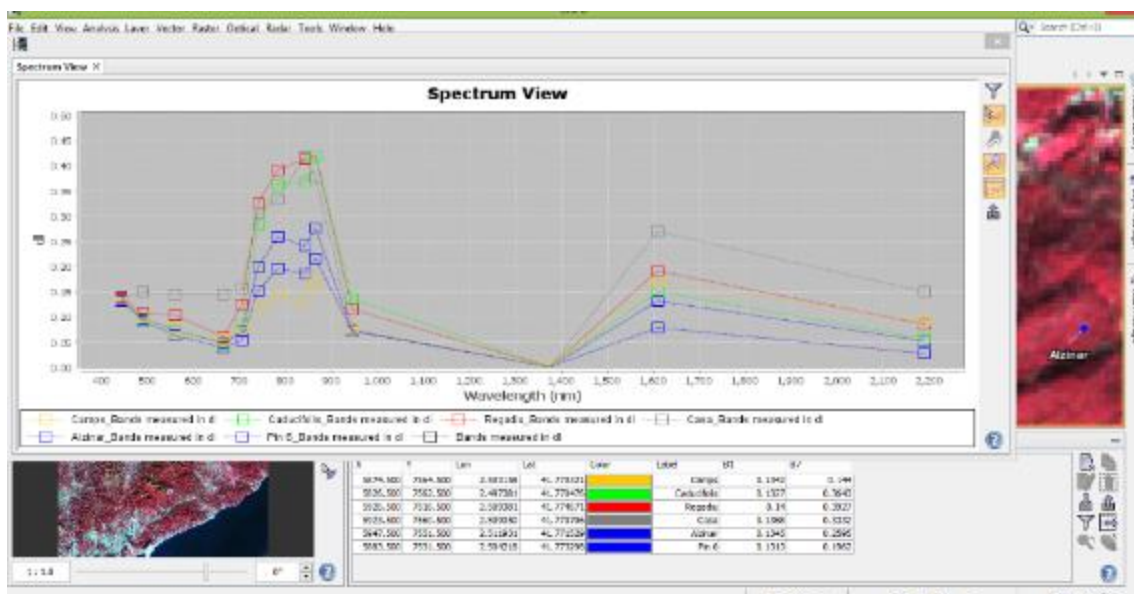


Figura 3-4: Signatures espectrals Sentinel-2 de cobertes forestals representades en el programari SNAP/Sentinel-2 Toolbox

Per fusionar les dades alfanumèriques dels treball de camp i la seva informació espacial, localització, perímetres dels rodals, identificadors, etc. calia usar un programa basat en

les prestacions dels SIG. Així podíem tractar tota la informació de camp amb diferents capes geoespacionals, introduint els mapes de base com els mapes topogràfics i models digitals del terreny, però especialment per treballar amb les imatges de satèl·lit.

El llarg dels últims anys han aparegut molts SIGs de caire gratuït que serveixen per combinar informació alfanumèrica amb informació geoespacial, però cal destacar-ne el programa QGIS per molts motius. El mes destacats serien:

- És un programari lliure de codi obert per als sistemes operatius més usats com Windows, Mac OS, Linux, Unix i Android. Això permet que qualsevol usuari o programador pugui usar i millorar aquest SIG amb noves eines i això és una constant.
- Els usuaris poden carregar les eines, noves extensions programades o *plugins* en el seu SIG de forma ràpida i còmode.
- Ha estat capaç d'integrar altres SIGs de referència en temes d'Observació de la Terra com el GRASS i el SAGA, obtenint la potencialitat de totes les seves eines en un sol entorn.
- Es troba en constant millora en les eines de visualització i tractament d'imatge i per tant també es un bona eina per treballs d'Observació de la Terra.
- Les millores també són continues en l'encadenament automàtic de processos amb modeladors, algoritmes com els scripts de Phyton, eines del Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) que ajuden a treballar de forma més segura i ràpida.

Un bon exemple de les constants millores en el QGIS per estudi de l'Observació de la Terra és la caixa d'eines de la missió de satèl·lit hiperespectral EnMAP (Alemanya) en format *plugin*. De fet, aquesta plataforma satèl·lit encara no està en òrbita i ja han construït un entorn de visualització i processament d'imatges hiperespectrals amb centenars de bandes i amb arxius complexos que es pot carregar al QGIS amb resultats excel·lents. En la Figura 3-5 es mostra una imatge hiperespectral PRISMA també compatible amb aquest entorn que processa els

arxius originals HDF (he5) i els transforma en GEOTIFF per poder usar l'entorn QGIS i en conseqüència totes les seves eines.

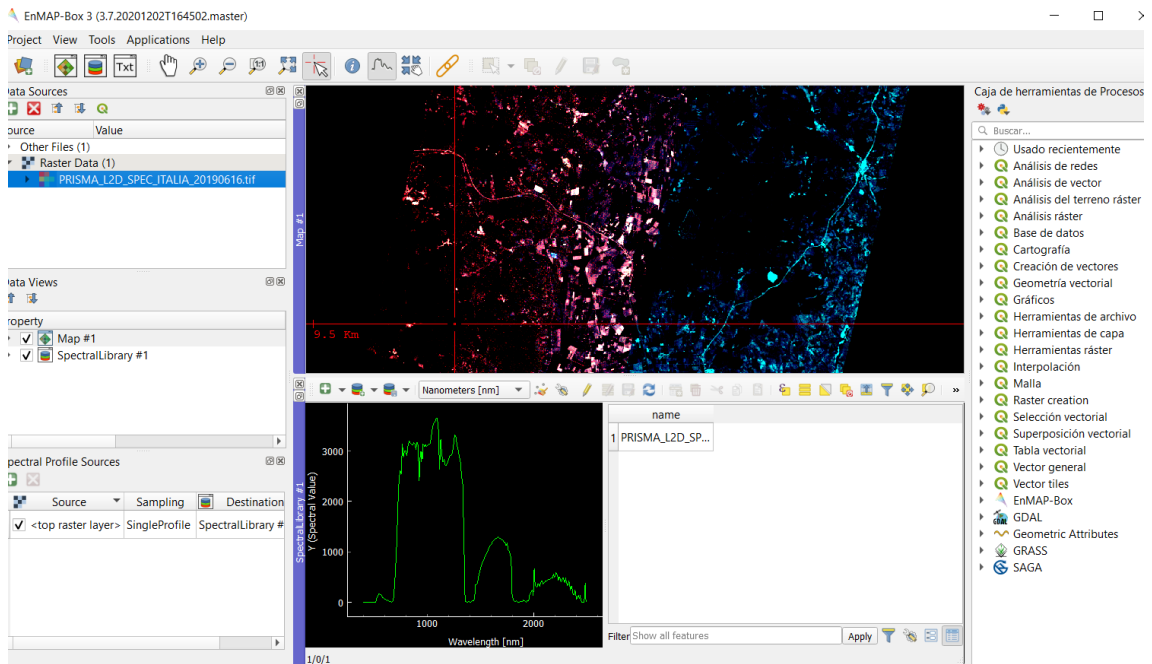
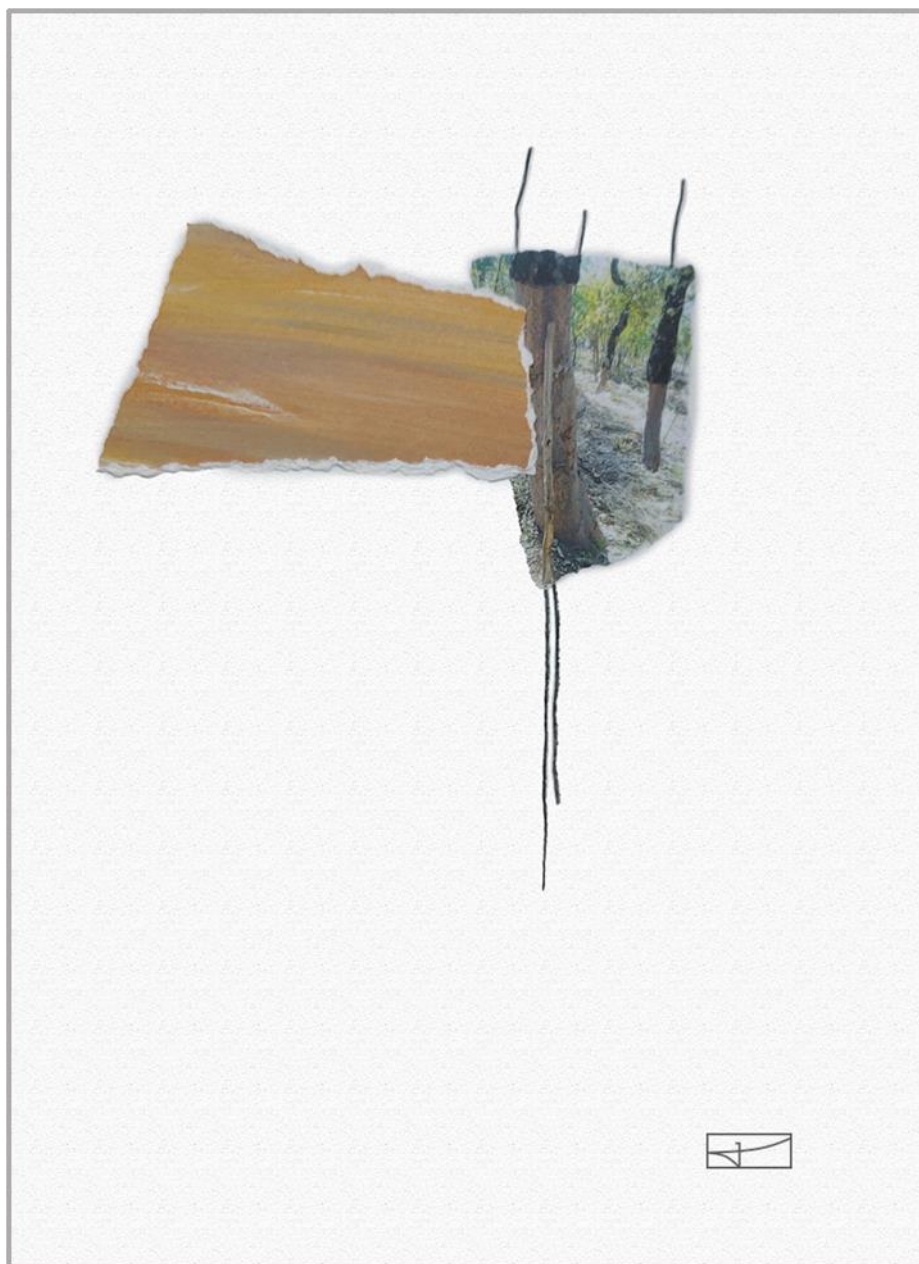


Figura 3-5: Exemple de visualització d'imatge Prisma L2D de la zona centre d'Itàlia amb la representació d'una signatura espectral de vegetació de les 237 bandes del sensor

Atenent a les capacitats i punt de partida d'aquesta Tesi, QGIS ha estat el programa principal per fer l'estudi d'anàlisi on s'han inclòs dades vectorials, punts GPS, imatges de satèl·lit i consultes WMS i s'han fet els càlculs de la informació ràster sobre les dades vectorials.

4 DE LES DADES A LA INFORMACIÓ



Rodal 3: Extracció de suro i despegrinatge l'any 2013

(tècnica mixta, acrílic, fotografia i creta)

4.1 Introducció

Les dades originals en aquest treball de Tesi, a les que podríem anomenar matèria prima, es distribueixen en dos grans grups, les dades de camp i les dades de satèl·lit. Les dades de camp engloben a grans trets totes les dades empíriques que ens confirmen que l'àrea d'estudi és vàlida per fer aplicar la hipòtesi de treball i les dades satèl·lits que serveixen per observar des de diferents perspectives metodològiques els boscos, la seva gestió forestal i els diferents canvis que hagin esdevingut.

Aquests dos conjunts de dades es troben descrits en els dos subcapítols següents. Sota el subcapítol 4.2 *Les dades de camp* es detallen les dades dendromètriques calculades a partir de: a) els PTGMF i b) els darrers treballs de camp, c) la selecció de les àrees concretes d'estudi anomenades rodals, d) la descripció de l'arxiu fotogràfic propi que s'ha anat confeccionant en la recol·lecció de dades durant els inventaris forestals, e) les tasques forestals, f) el seguiment puntual de la fauna superior, i per últim, g) les dades meteorològiques puntals. En el capítol 4.3 *Les dades d'Observació de la Terra* es descriu com s'han obtingut els principals conjunts de dades de satèl·lit del Sentinel-2 del programa Copernicus i les imatges Landsat de la NASA/USGS, i com s'han desestimat l'ús d'altres dades de satèl·lit. També es descriu l'ús d'algunes dades aeroportades de productes de l'ICGC com són la col·lecció d'ortofotos històriques i el Models Digital del Terreny.

4.2 Les dades de camp

Les zones d'estudi en què s'emmarca aquest treball, componen un territori amb masses forestals prou homogènies reconegudes des de les imatges de satèl·lit Landsat i Sentinel-2. En la majoria dels casos les àrees han estat extretes de les unitats d'actuació (UA) de diferents PTGMF de la zona, per tal de recollir dos tipus de dades al llarg del temps, aproximadament dels darrers 27 anys. Les primeres dades són els inventaris forestals que s'han realitzat cada 10 a 15 anys, i que s'han actualitzat durant l'estiu del 2021 amb noves mesures al camp. Les segones dades són les relacionades amb el seguiment de la gestió forestal de cada unitat d'actuació durant més de dues dècades.

De fet els perímetres de les àrees escollides no coincideix exactament amb les UA, sinó que són les zones homogènies predominants interiors a la unitat, el que en terminologia forestal és coneix com rodals. Els rodals s'entenen com una massa forestal arbrada, o no, que es distingeix del que l'envolta, especialment pel tipus de vegetació que hi conté. La gestió per rodals ha estat i segueix essent emprada en l'ordenació forestal de molts boscos públics i les similituds com àrees bàsiques amb les UA dels PTGMF són molt evidents (Vericat & Piqué, 2008).

S'han escollit en aquesta Tesi, fins a 23 rodals dels quals alguns tenen inventaris de camp realitzats durant la confecció dels PTGMFs. Dues parcel·les més han estat escollides com a zones pseudoinvariants que serveixen de control de la qualitat de les imatges de satèl·lit.

4.2.1 Els PTGMFs i les seves actualitzacions

La superfície forestal de Catalunya representa aproximadament un 64% de les cobertes de Catalunya, de la quals més del 75% són de titularitat privada. Per poder endegar la seva correcta gestió l'any 1988 va néixer el Centre de la Propietat Forestal (CPF) per fomentar la gestió forestal sostenible (GFS) mitjançant eines com els plans d'ordenació forestal, com el PTGMF o PSGF, així com línies de subvencions i ajuts per redactar-los i realitzar algunes tasques forestals recollides en els mateixos plans (Martín & Cervera, 2017).

Fruit d'aquesta necessitat de gestionar correctament els boscos, en algunes propietats forestals del municipi de Gualba (Vallès Oriental) i Riells i Viabrea (Selva) s'han realitzat diferents PTGMF i les seves successives actualitzacions.

La confecció dels PTGMF es fonamenten en l'ordenació del territori en UA. La UA ha de ser una parcel·lació que garanteixi l'estabilitat de la gestió i el seu seguiment en el temps. La parcel·la també ha de basar-se en la homogeneïtat en les característiques físiques del medi com l'altitud, pendent, exposició o profunditat del sòl entre d'altres, per tal de garantir un tractament i producció similars (Centre Propietat Forestal, 2004).

Tot i així, els perímetres de les parcel·les de les UA es veuen mínimament afectats geoespacialment quan s'intenten ajustar als límits de parcel·les cadastrals per obtenir una certa harmonització de límits geogràfics. Això beneficia la confecció de les partides econòmiques associades a les tasques de gestió forestal a l'hora de presentar uns pressupostos a l'administració competent per demanar els ajuts. Per tant, tot i que es prenen de referència algunes UA per la recerca, el que realment constituirà la nostra unitat fonamental de treball és el rodal que la conforma, evitant vores o acabaments no necessaris, tal i com quedarà descrit en el següent apartat.

En la Taula 4-1 es troben els PTGMFs, desenvolupats en el marc d'aquest treball, que s'han usat per obtenir la informació dels inventaris forestals i de la planificació forestal, així com el nombre de rodals seleccionats.

Taula 4-1: Recull dels PTGMFs usats en la recerca de dades de camp i de gestió forestal

Nº	Acrònim	Nom	Codi CPF	Any Publicació	Ha totals	Nº U.A usades
1	PTGMF-3	PTGMF per a les finques Can Prat i Can Amat (Muñoz & Tardà, 1995)	133	1995	165.67	3
2	PTGMF-1	PTGMF per a les finques de Can Breta i Can Nadeu (Muñoz & Tardà, 2002)	1685	2002	56.74	7
3	PTGMF-4	Renovació PTGMF per a les finques Can Prat i Can Amat (Sanitjas et al., 2007)	133	2007	165.67	3
4	PTGMF-2	Renovació PTGMF per a les finques de Can Breta i Can Nadeu (Vigué, 2015)	1685	2015	56.74	7

Quan el CPF va donar conèixer la necessitat de redactar el PTGMFs per part de les propietats forestals privades, els propietaris i gestors de les zones més al nord dels municipis de Riells i Viabrea es van decidir a realitzar aquests plans d'ordenació.

Com es pot veure el PTGMF de Can Prat i Can Amat varen ser dels primers en portar-se a terme (codi 133), tot i que varen tenir un endarreriment degut a l'incendi del 10 d'agost del 1994.

L'inventari de camp s'havia fet pocs dies abans de l'incendi i estava planificat enviar el PTGMF definitiu a finals d'agost del mateix any. Però el foc va cremar la meitat de la finca forestal i va ser necessari redefinir com concloure el PTGMF. En les reunions que hi van haver amb els tècnics del CPF es va acordar que l'incendi havia estat molt sever i que calia lliurar el PTGMF el més aviat possible per demanar les ajudes relacionades amb la gestió forestal de les zones cremades (Figura 4-1). També es va decidir que es conservava l'inventari de camp abans de cremar-se el bosc com a testimoni històric de la massa forestal preexistent.



Tècnic redactor o assessor:	
Francese Muñoz Gutierrez Anna Tardà i Lleget	Geògraf i Màster en Economia Regional i Urbana Geògrafa i Post-grau en Economia i Medi Ambient
Els tècnics:	
	
25 d'agost de 1994	
Documentació que s'acompanya:	
Nombre de fitxes: 18	
Cartografia de situació: Mapa de situació geogràfica de la finca 1:50.000, mapa planimètric 1:5.000 i ortofotomapa 1:5.000	
Cartografia de parcel·lació: Plànol de parcel·lació del pla de gestió per Can Prat 1:5.000 amb l'àrea incendiada del deu d'agost de 1994 i mapa de limitació de la zona integral del Parc Natural del Montseny dintre de la finca de Can Prat.	
Observacions:	
Quinze dies abans de l'entrega d'aquest PTGMF el 80% de la propietat es va cremar de forma molt severa. Per tant s'ha fet una modificació a tot el pla per adequar-se a les noves tasques d'aprofitaments i millores que s'hauran de fer sobre les àrees incendiades. Malgrat tot s'ha aprofitat les dades recollides sobre les masses forestals existents abans de l'incendi, per cada unitat d'actuació. Actualment aquesta informació forma part de la història forestal d'aquesta finca, i servirà com a antecedent de les noves masses forestals que es formaran.	

Figura 4-1: Full escanejat del 1er PTGMF Can Prat i Can Amat on es confirma que es guarden les dades dendromètriques mesurades abans de de l'incendi

En cada revisió del PTGMF cal fer un nou inventari de camp, per tant, com que han passat 27 anys ens trobem que s'han redactat dos plans i dues actualitzacions dels primers plans i les dades dendromètriques dels quatre plans respectivament.

La majoria de les dades dendromètriques han estat guardades com a informació forestal històrica per fer estudis d'evolució forestal de la zona. Per aquesta Tesi han estat seleccionades les dades de tres UAs dels PTGMFs de Can Prat i Can Amat i set UA dels PTGMF de Can Breta i Can Nadeu.

Com a exemple, en la Figura 4-2 es pot veure la primera plana de la Fitxa descriptiva de la U.A 1 Sureda de les Pedreres dels dos PTGMF de Can Prat i Can Amat. Aquesta UA conformada per tres subunitats d'actuació conté el rodal 5 Sureda de la Pedrera que s'estudia en aquesta Tesi.

Fitxa descriptiva de la unitat d'actuació:		Nom:		E3			
		Sureda de les pedreres					
u.a.: 1. Sureda de les pedreres							
A. UNITAT D'ACTUACIÓ							
		Subunitat ordenada (ha)	Superfície (ha)	Actuada (ha)			
		1a	3,05	6,91	6,25		
		1b	4,08	4,08	4,25		
		1c	3,37	3,37	3,21		
Fracció de coberta coberta : 50 %.							
Composició específica: massa molt homogènia.							
Distribució espacial: uniforme, una mica menys uniforme a la subunitat 1c on l'albina té més presència.							
Relació d'espècies							
		Espècies					
Variable		Q8	Aa	Ppr	Ra	Qa	TOTAL
Recobert (%)		10	5				30
Densitat (peus/ha)		2034	1485	42	573	960	5729
Densitat peus < 6 (peus/ha)		825	74	42	21	450	1189
Densitat peus majors (peus/ha)		117	0	11	0	360	570
Densitat (espècies/ha)		340	101	5	88	53	689
Àrea basal (m ² /ha)		2,1	0,1	0,3	0,8	35,7	39,3
Índex de sòl de regeneració							3406
Índex de patró							190
Repartiment (grup/homogeni)		homogeni					homogeni
Extracció		seminegular					seminegular
Risq		15					
Alçada mitjana (m)		7,0	5,5	0,0	0,0	6,0	
Alçada diàmetre (m)		4,3	1,5	0,0	0,0	3,3	
Capçalera		comprimida	comprimida				comprimida
Diàmetre mitjà (cm)		1,5	0,4	2,5	0,3	24,0	2,8
Aspecte del canó		bo	bo	la		bo	
Estat florífer		50	90	80		60	
Regeneració origin		3	3	1	0	4	
Regeneració natural		1	1	2	2	1	
Estat inventariables (n°)							178,27
Productivitat (m ³ /ha/any)							4,25
Biomassa (t/ha)							130,00
Carboni fòssil (t/ha)							54,70

Figura 4-2: Primera plana de la Fitxa descriptiva de la UA Sureda de les pedreres del PTGMF 133 actualitzat (2007)

La Figura 4-3 il·lustra la primera plana de la Fitxa descriptiva de l'UA 7.1 del primer PTGMF de Can Breta i Can Nadeu on es troba situat el rodal 19 que s'estudia en aquesta Tesi. En la primera plana ja es recullen les informacions bàsiques de l'espècie principal i secundària com el recobriments, la densitat, el repartiment, el diàmetre mitjà, la regeneració i l'àrea basal procedents de l'inventari forestal realitzat mesos abans.

Aquestes característiques bàsiques de la massa forestal arbrada es mantindran al llarg de tots els inventaris forestals recollits. Només en el segon PTGMF de Can Breta i Can Nadeu no es tenen informacions tant detallades donat un canvi metodològic en la recollida de les dades.

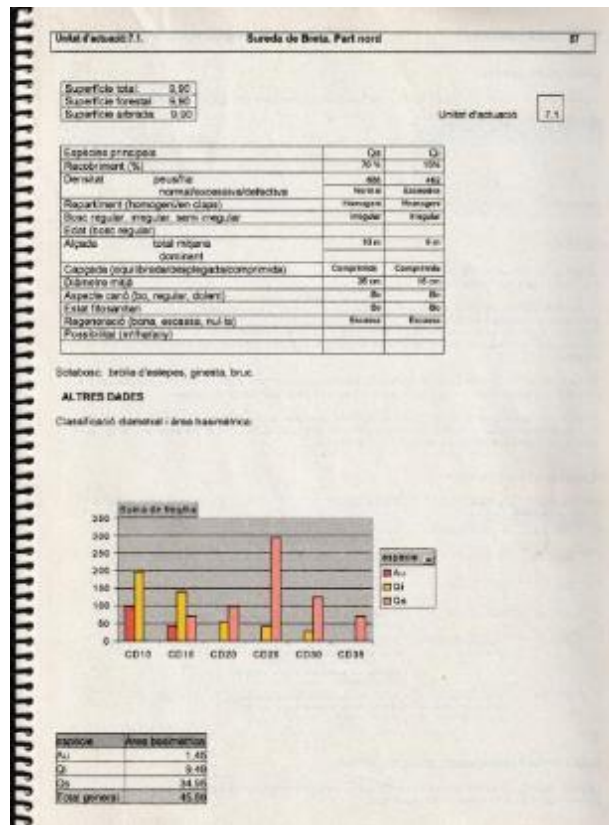


Figura 4-3: Primera plana de la Fitxa Descriptiva de la UA Sureda de Breta. Part Nord del primer PTGMF(2002)

En tots els casos la fitxa descriptiva de cada UA recull una bona síntesi de les dades de l'inventari de camp portat a terme i que serviran de comparació pel treball de camp actual.

En la Taula 4-2 es recullen algunes de les dades rellevants dels inventaris de camp, com l'acrònim propi de l'inventari, l'any d'execució, autors, mètode de l'inventari i estat de conservació de les dades.

Taula 4-2: Tipus d'inventari de camp i dades conservades

Acrònim PTGMF	Acrònim Inventari	Origen	Tipus d'inventari	Any	Fitxes de camp
PTGMF-3	PTGMF-1-1994	Propi	Dendromètric	1994	No es conserven
PTGMF-1	PTGMF-1-2001	Propi	Dendromètric	2001	Es conserven
PTGMF-4	PTGMF-2-2005	Propi	Dendromètric	2005	Es conserven
PTGMF-2	PTGMF-2-2014	Extern	Pericial	2014	No es conserven

El procés de recollida de les dades dendromètriques s'explica en l'apartat 4.2.3.

4.2.2 Selecció de rodals de seguiment

Els inventaris forestals realitzats en anys anteriors han determinat la selecció de rodals a estudiar. De fet, de 10 UA seleccionades han sortit 11 rodals de seguiment, que són considerats com a rodals principals dins l'estudi, ja que són els que posseeixen més informació de camp. Aquests rodals estan formats per masses denses de tipus de boscos comuns al Montseny. A més, s'han afegit 12 rodals amb masses forestals similars de l'entorn més proper però que es posseeix poca informació de camp i que serviran com a primera comparació de resultats amb els rodals principals.

Per aquells rodals que tenen treball de camp procedents dels PTGMF s'ha efectuat una actualització amb nous inventaris durant l'estiu del 2021. Els rodals sense treball de camp s'han escollit per la seva similitud de vegetació amb els anteriors. La valoració de la similitud s'ha fet per observació directa i amb els suport de les ortofotos de l'ICGC al llarg del temps.

Dues parcel·les més han estat escollides en el conjunt de dades com a zones pseudoinvariants. En concret són la làmina d'aigua del Pantà de Sant Fe i la superfície rocosa de la pedrera en desús, coneguda com a Pedrera de Can Viader.

En la Figura 4-4 es mostra l'enclavament geogràfic dels rodals i les parcel·les escollides i la seva tipologia.

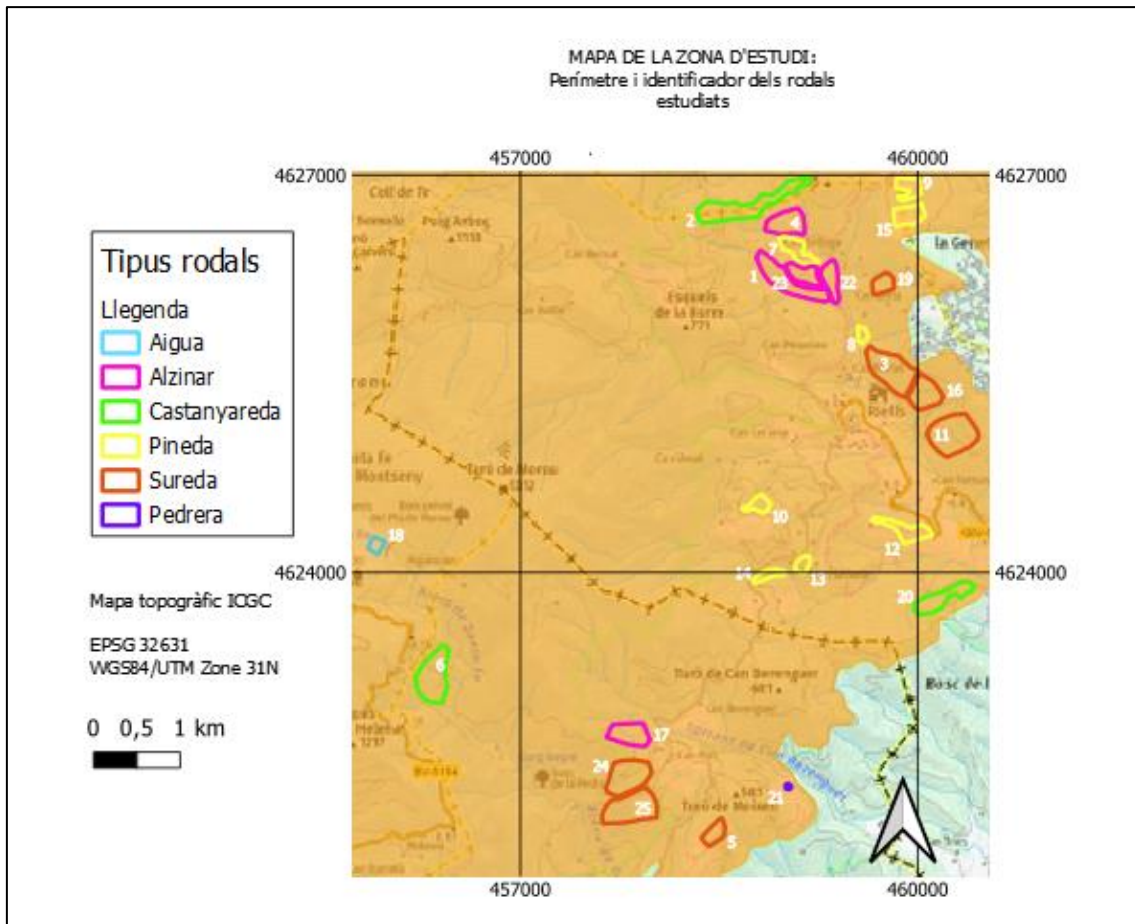


Figura 4-4: Situació geogràfica, identificació i tipologia dels rodals i parcel·les estudiades dins del Parc Natural del Montseny

Els rodals i les parcel·les es troben majoritàriament en dos municipis, Gualba (Vallès Oriental) i Riells i Viabrea (Selva), amb l'excepció de tres rodals del nord, seleccionats com a rodals complementaris, que es troben en part dins del municipi d'Arbúcies. Tots els recintes estudiats es troben dins del PEIN del Parc Natural del Montseny, entre els 400 m i 1.000 metres d'altitud. Tots els rodals d'estudi són masses forestals denses que a grans trets, es poden dividir entre alzinars, suredes, pinedes de repoblació i castanyeres, tal com indica la llegenda de la Figura 4-4.

En la Taula 4-3 es recullen el nombre de rodals, el seu nom, el seu topònim, el seu tipus de formació boscosa, la seva extensió i les coordenades geogràfiques centrals.

Taula 4-3: Recull dels 23 rodals i dues parcel·les pseudoinvariants usats com a veritat camp pel projecte

No Rodal	Nom rodal	Tipus coberta	Superfície (ha)	Coord X	Coord Y
1	Alzinar sud del Castellar	Sureda	6.47	459018.48	4626213.21
2	Baga de Can Torrent	Plantació de castanyers	8.69	458701.66	4626781.36
3	Sureda sud	Sureda	9.25	459782.38	4625528.77
4	Alzinar de Can Romualdo	Alzinar	4.35	459012.52	4626645.88
5	Sureda de la Pedrera	Sureda	2.07	458465.96	4622034.49
6	Baga de Corbera	Plantació de castanyers	7.25	456343.52	4623214.93
7	Pineda de Castellar	Plantació de coníferes	2.82	459087.47	4626438.31
8	Pineda de Breta	Plantació de coníferes	0.73	459581.99	4625800.42
9	Pineda Sant Climent Nord	Plantació de coníferes	2.43	459933.56	4626907.64
10	Pineda Pla de Saba	Plantació de coníferes	1.74	458793.69	4624509.06
11	Sureda Can Joia 2	Sureda	8.37	460272.3	4625053.3
12	Pineda Can Rumia	Plantació de coníferes	1.95	459831.7	4624436.59
13	Pineda Can Flassada	Plantació de coníferes	0.96	459136.04	4624065.39
14	Pineda de Can Amat	Plantació de coníferes	1.19	458871.59	4623984.8
15	Pineda Sant Climent Sud	Plantació de coníferes	3.05	459933.28	4626706.23
16	Sureda Can Joia 1	Sureda	4.55	460053.73	4625355.92
16	Alzinar El Castell	Alzinar	4.26	457824.21	4622782.3
18	Pantà de Santa Fe	Parcel·la pseudoinvariant	1.03	455910.4	4624211.12
19	Sureda nord	Sureda	1.99	459737.1	4626185.33
20	Baga de Can Roig	Plantació de castanyers	3.93	460192.1	4623817.53
21	Pedrera de Can Viader	Parcel·la pseudoinvariant	0.17	459019.6	4622386.77
22	Alzinar del Sot de Breta	Alzinar	2.75	459346.49	4626218.35
23	Bosc mixte de Castellar	Alzinar-Sureda	2.8	459141.93	4626256.91
24	Sureda de la Mel	Sureda	6.7	457810.10	4622461.65
25	Sureda de de l'Arboç	Sureda	7.79	457835.00	4622223.67

El sistema de referència de coordenades usat ha estat EPSG:32631 - WGS 84 / UTM zona 31N projectat. És el mateix sistema de referència que s'ha usat per la gestió de les imatges de satèl·lit. Aquestes coordenades a la pràctica són gairebé iguals a les coordenades oficials EPSG:25831 - ETRS89 / UTM zona 31N Projectat, per tant qualsevol altra cartografia usada sobre Catalunya en aquest treball, es pot projectar perfectament com són els ortofotomapes de l'ICGC.

El conjunt de parcel·les estudiades representen gairebé una extensió de 100 ha. Aquestes superfícies s'estudiaran per cada programa satèl·lit d'imatges de satèl·lit que no estigui coberta pels núvols i que existeixi en els darrers 27 anys. Cada massa forestal delimitada per un rodal tindrà la seva col·lecció d'imatges de satèl·lit per ser estudiada al llarg del temps de forma independent.

Segons el tipus d'informació de dades de camp s'han dividit els rodals en dos categories: Els rodals principals i els rodals secundaris. Els rodals principals han estat subjectes d'actualització en l'inventari forestal durant de l'any 2021. Els rodals secundaris serviran de comparació i suport amb els principals.

4.2.2.1 Fitxes descriptives dels rodals

Les diverses fonts d'informació que s'han obtingut per a cada rodal en el seu marc temporal s'han recollit i ordenat per tal de ser usades com informació de veritat de camp durant la recerca. De forma introductòria s'han realitzat unes fitxes de presentació de les dades més rellevant al llarg dels anys de cada rodal i de les 2 parcel·les pseudoinvariants, anomenades "Fitxa Descriptiva 1" i que es troben recollides en l'Annex 1 pels rodals principals amb inventari forestal i els rodals secundaris i l'Annex 4 per a les parcel·les pseudoinvariants. Pels rodals amb treball de camp s'ha realitzat una segona fitxa de les dades dendromètriques més detallades al llarg del temps que es detallen en l'apartat 4.2.3.2.

La Fitxa Descriptiva 1 conté cinc apartats amb la informació següent:

1.- Dades de control:

Rodal: Número i tipus (principal o secundari)

Superfície del rodal en hectàrees

Municipi on pertany

Coordenades del punt central del polígon

2.- Punt inventari: (si s'ha realitzat l'inventari forestal)

Radi de la parcel·la de l'inventari en metres

Data de realització: dia, mes i any

Altitud en metres

Orientació en graus

Pendent en percentatge

3.- Característiques principals:

Es confirma l'existència d'algunes particularitats i es poden fer observacions:

Regeneració de la massa

Tasques silvícoles

Danys a la massa arbòria

Inventaris forestals

Presència d'erosió

4.- Dades de l'inventari:

S'enumeren per cada inventari forestal:

Acrònim de l'inventari dins la Tesi i data

UA on pertany el rodal

Espècie arbòria principal amb el nom en llatí

Formació forestal segons Orientacions de Gestió forestal Sostenible de Catalunya (ORGEST)

Codi simplificat de l'espècie arbòria en llatí

Superfície de la UA en hectàrees

Tipus d'inventari: pot ser dendromètric o pericial

5.- Estructura de la massa:

Es detalla per cada any de l'inventari forestal com s'ha trobat el conjunt de la massa boscosa en tres paràmetres:

Forma principal: si es regular, irregular o semirregular

Composició específica: Pot ser classificat com Massa homogènia, Massa heterogènia barrejada peu a peu, Massa heterogènia amb vol i subvol o Massa heterogènia en claps

Distribució espacial: Pot ser diferenciat entre Uniforme, Disseminada en claps i Disseminada en individus aïllats

6.- Formació arbòria principal

Es detalla per l'espècie arbòria principal de cada inventari:

Densitat de peus per hectàrea

Fracció cabuda coberta en percentatge

Diàmetre mitjà del tronc en centímetres, a l'alçada de 1,30 m.

Alçada dominant aproximada en metres

Àrea basal o basimètrica amb metres quadrats per hectàrea.

Any de l'inventari

En la Figura 4-5 es mostra la Fitxa Descriptiva 1 del *rodal 19 Sureda Nord* on es recullen tots aquest paràmetres descrits. Amb la lectura d'aquesta primera fitxa s'obté una visió general del tipus de bosc estudiat i de les dades que s'han pogut obtenir.

FITXA DESCRIPTIVA		(1/2)		Rodal 19		Punt central inventari	
Dades de control							
RODAL 19	Principal						
Nom	Sureda Nord						
Superfície rodal	1.99	ha					
Municipi	Riells i Viabrea						
Cordenades	X (m)	Y (m)					
Punt central	459737.1	4626185.3					
Punt inventari							
Radi inventari	10 m						
Data inventari	19/09/2021						
Altitud	593 m	MET	591.4 m				
Pendent	20%	Orientació	SW 247				
Tipus de roca	Granit	Rocositat	10%				
Punt central	459733,52	4626205,78					
Característiques particulars							
<i>Item</i>	<i>SI/NO</i>	<i>Observacions</i>					
Tasques silvícoles	SI	Tasques realitzades:		2018	Estassada		
				2018	Extracció de suro		
Regeneració de la massa	SI	Per rebrot i planta, alzina i suro		2018	Tractament fitosanitari		
Danys massa arbòria	SI	Malures associades al suro					
Inventaris forestals	SI	3					
Erosió	NO						
Observacions							
Dades d'inventari							
<i>PTGMF-Treball de camp-any</i>	<i>UA/rodal</i>	<i>Espècie principal</i>	<i>Tipologia forestal Arbrada</i>	<i>Codi</i>	<i>Sup</i>	<i>Tipus inventari</i>	
PTGMF-1- 2001	7.1	Quercus suber	Bosc mixtos de surera i alzines	(Qs_Qii)	9.9	Dendomètric	
PTGMF-2- 2014	8	Quercus suber	Bosc mixtos de surera i alzines	(Qs_Qii)	5.76	Pericial	
TC-3- 2021	19	Quercus suber	Idem	Qs	1.99	Dendomètric	
Estructura Massa		2001	2014	2021			
Forma principal	SemiRegular	SemiRegular	SemiRegular				
Composició específica	Heterogènia en		Heterogènia en	Heterogènia en claps			
Distribució espacial	Uniforme	Uniforme	Uniforme				
Formació arbòria principal							
Especies forestals	Densitat (p/ha)	Fcc %	Dm (cm)	H(m)	Edat	AB(m2/ha)	Any
Qs-Quercus suber	658	70	26	9		34.94	2001
Qs-Quercus suber	190	20	27	8		12	2014
Qs-Quercus suber	579	50	35	12		43.71	2021

Figura 4-5: Fitxa descriptiva de les dades principals del rodal 19 Sureda Nord

Els rodals secundaris, sense inventari forestal, estan descrits per a les dades de control i la TFA és estimada a l'espera dels resultats comparatius finals.

4.2.3 Actualització dels treballs de camp als rodals principals

Per interpretar l'evolució de les masses forestals cal estudiar el comportament de la vegetació. Segons les espècies forestals i l'estat de la massa al llarg del temps es podrà entendre la seva evolució. Per aquest motiu ha estat clau recollir dades bàsiques. Així doncs ens referirem com a dades bàsiques: l'altitud, els pendents, els tipus de sòl, les condicions climàtiques que ajuden a entendre la capacitat productiva del sòl forestal. Part d'aquestes informacions ja s'han anat introduint en els apartats anteriors però l'evolució concreta de cada massa estudiada es descriu més correctament si es recullen dades directament al camp, basades essencialment en descriure l'estat de la vegetació. Els inventaris forestals fets en el marc dels PTGMFs donen una visió històrica dels rodals i el treball de camp fet l'estiu de 2021 completen la visió de les masses forestals fins l'actualitat.

Durant l'estiu de l'any 2021 s'han realitzat 11 treballs de camp per recollir les dades dendromètriques que ja s'havien pres en els inventaris d'anys anteriors. Per a tots els treballs de camp realitzats al llarg del temps s'han fet servir recursos similars tot i que les tecnologies han avançat molt i poden facilitar millor la recollida i exactitud de les dades. Tot i així, cal dir que des de l'inici fins l'actualitat la zona estudiada no té cobertura mòbil terrestre i les dades no poden ser recollides en aplicacions mòbils que usen el núvol d'internet per guardar-les. El que sí ha millorat és l'exactitud del posicionament terrestre, a partir de sistemes *Global Navigation Satellite Systems* (com el GPS o GALILEO) i moltes aplicacions recullen de forma *offline* (fora de cobertura mòbil) les posicions per després poder ser exportada a sistemes d'informació geogràfica i poder ser tractada geoespacialment.

4.2.3.1 Materials de suport per realitzar el treball de camp

Les mesures realitzades a camp vindran condicionades pels potencials observables que les imatges de satèl·lit ens permeten obtenir. En concret amb l'inventari es recullen dades que descriuen especialment la massa arbòria i si aquesta és poc densa s'aprofiten les dades recollides del sotabosc o matoll.

A mode de llista, els materials principals emprats han estat:

- Fitxa de camp per recollir dades de localització i dendromètriques de cada rodal
- Cinta diamètrica/centimètrica per mesurar diàmetre arbres a 1.30 m aprox.
- Regla altures arbres, Regla de Christen
- Taula de suport a la mesura de la Fracció Cabuda coberta (FCC)
- 2 rotlles de cordill de 20 metres, marcada a 5, 10, 15 i 20 metres
- Llapis i goma

Amb el telèfon mòbil amb aplicacions *offline* i instruments més clàssics es prenen les següents dades:

- GPS diferents aplicacions com Catalunya *Offline* de ICGC
- Orientació presa amb brúixola i l'aplicació mòbil *Pure GPS*
- Pendent amb clinòmetre i aplicació mòbil *Car clinòmetre*
- Fotografies de cada rodal amb la càmera del mòbil

Altres complements molt útils que cal portar:

- Bateria complementària pel mòbil. Molt útil per què si la jornada s'allarga es prenen moltes mesures amb el mòbil i la bateria s'esgota.
- Dall, pedra esmolar, bastó, guants, ulleres, molt útils per endinsar-se en zones on el sotabosc és molt dens i no es pot accedir.
- Cordill addicional per si cal marcar alguna subzona temporalment durant la mesura al rodal.
- Carpeta per prendre mostres d'alguna planta o pedres que no es coneixen i es vol consultar al despatx.

4.2.3.2 *Descripció de la fitxa de camp dels rodals*

Al llarg del temps la fitxa de camp no ha canviat gaire. Conté diferents blocs de continguts alguns dels quals es recullen a la Fitxa Descriptiva 1 recollida en l'apartat 4.2.2.

En la Figura 4-6 s'inclouen les quatre planes de la fitxa de camp usada el 2021. Els conceptes són gairebé iguals a les fitxes creades des del primer inventari de 1994 pel PTGMF-3. La primera plana de la fitxa conté dades de control del rodal com número, data, tipus d'accés; també inclou algunes dades relacionades amb el tipus de sòl i de roca, i el grau d'erosió si existeix. Les tres planes restants recullen tota les dades referents al tipus de vegetació. La segona plana enregistra dades generals de la massa a nivell herbaci, arbusti i arbori i les dues planes darreres són per escriure el nombre de peus majors dins els rodal, el seu diàmetre a l'alçada de 1.30 m, el nombre de tanys i l'alçada mitjana dominant. En el cas de l'alzina surera es mesura el diàmetre per sobre i per sota del suros si ha estat pelat alguna vegada i s'agafa l'alçada de la pela.

La fitxa de camp que es mostra en la Figura 4-6, s'ha omplert pels 11 rodals amb inventari forestal. El punt de mostreig es forma amb un cercle a partir d'un punt central escollit dins els rodal. No ha de ser exactament en el mateix punt que els anteriors perquè el punt sempre ha de ser representatiu del rodal. El perímetre pot variar un xic segons si el bosc és més net o no o si la massa és molt homogènia i densa o més aclarida i heterogènia. De forma general les plantacions de pins insignes han estat mesurades amb un cercle amb radi de 15 m mentre que les suredes i alzinars hi ha un doble perímetre. Tots els peus majors s'han calculat amb un radi de 10 metres i les mesures dels peus menors i matollar en un radi de 5 metres. A l'Annex 2 es mostra la Fitxa de Camp omplerta pel rodal 22 el dia 19 de setembre del 2021.

FITXA PER A TREBALL DE CAMP

Dades de Control:

Horari:

Inici:	
Acabament:	

Temps de desplaçament: _____
 Data: _____

Observacions i itinerari d'accés a la zona

Descripció de l'accés: _____

Croquis i localització: _____

Identificació

Dades de control de l'estació de mostreig

Municipi: _____
 Coordenades: x: _____ y: _____

Classificació de la zona:

Area protegida: _____ Altitud mitjana: _____ Pendent mitja: _____ Orientació: _____

Tipus de Roca: Calcàrea Granit Pissarres i esquistos Conglomerat
 Marga Altres _____

Rocositat: No Sí _____ %

Erosió

0- Sense manifestacions erosives
 1- Coll de les arrels al descobert amb una acumulació de material algües amunt dels troncs i abundància superficial de pedres
 2- Presència de saragalls paral·lels d'un pam de fondària (20 cm com a màxim)
 3- Rases i barrancs en forma de V
 4- Rases i barrancs en forma de U
 5- Desprendiment del terreny

Vegetació Fracció de cabuda coberta _____ % (projecció de les capçades arbustives i dels arbres)

Espècies herbàcies sotabosc:

Esp	h. mitja	dens.

Arbustiu Fracció de cabuda coberta _____ %
 Arbustiu_ Alçada mitjana _____ m

Espècies arbustives: Matollar i arbusts sotabosc:

Esp	h. mitja	dens.

Arbori Fracció de cabuda coberta _____ %

Composició específica:

- 1- massa homogènia o pura
- 2- massa heterogènia barrejada peu a peu
- 3- massa heterogènia amb voli i subvol
- 4- massa heterogènia barrejada a clapas

Distribució espacial:

- 1- massa uniforme
- 2- disseminada en clapas aïllades
- 3- disseminada en individus aïllats

Nombre de soques: _____

Observacions: _____

Peus menors:

Esp	Num.	H mitja	regen

Dendrometria(1/2) Rad. mostra de 5 m per diàmetres inferiors a 55 cm
 Rad. mostra de 20 m per diàmetres superiors o iguals a 55 cm.
 Vigor 1 - Dorment 2 - Codornials 3 - Marmelad 4 - Dormit 5 - Mort 6 - Isolat o de vora
 10 - Incident en els 10 darrers anys

Ab. n°	Perim	Espec.	Vigor	Alçada (10)	Edat	Ab. n°	Perim	Espec.	Vigor	Alçada (10)	Edat	Ab. n°	Perim	Espec.	Vigor	Alçada (10)	Edat
1					31						61						
2					32						62						
3					33						63						
4					34						64						
5					35						65						
6					36						66						
7					37						67						
8					38						68						
9					39						69						
10					40						70						
11					41						71						
12					42						72						
13					43						73						
14					44						74						
15					45						75						
16					46						76						
17					47						77						
18					48						78						
19					49						79						
20					50						80						
21					51						81						
22					52						82						
23					53						83						
24					54						84						
25					55						85						
26					56						86						
27					57						87						
28					58						88						
29					59						89						
30					60						90						

Ab. n°	Perim	Espec.	Vigor	Alçada (10)	Edat	Ab. n°	Perim	Espec.	Vigor	Alçada (10)	Edat	Ab. n°	Perim	Espec.	Vigor	Alçada (10)	Edat
91					125						159						
92					126						160						
93					127						161						
94					128						162						
95					129						163						
96					130						164						
97					131						165						
98					132						166						
99					133						167						
100					134						168						
101					135						169						
102					136						170						
103					137						171						
104					138						172						
105					139						173						
106					140						174						
107					141						175						
108					142						176						
109					143						177						
110					144						178						
111					145						179						
112					146						180						
113					147						181						
114					148						182						
115					149						183						
116					150						184						
117					151						185						
118					152						186						
119					153						187						
120					154						188						
121					155						189						
122					156						190						
123					157						191						
124					158						192						

Figura 4-6: Fitxa de camp per prendre mesures dendromètriques de la massa forestal

4.2.3.3 Fitxa descriptiva de les dades dendromètriques

Cada rodal té la seva Fitxa Descriptiva 1, on es recullen algunes de les dades dels diferents inventaris. En cas que el rodal disposi d'aquesta informació es desplega una segona Fitxa Descriptiva 2 on es descriuen les principals dades mesurades de l'estrat arbori i es descriu l'estat arbustiu i si s'escau l'estrat herbaci. Aquestes fitxes són un total de 11, corresponents als rodals principals.

Així per l'estrat arbori es descriu en aquestes dades:

- La **densitat de la massa** definida com el nombre de peus d'arbre per hectàrea després d'extrapol·lar la parcel·la circular de 5, 10 o 15 metres per hectàrea segons el rodal estudiat.
- La **fracció de cabuda coberta** (FCC) com el percentatge de la superfície ocupada per les capçades dels arbres projectades verticalment al sòl.
- L'**àrea basal o basimètrica total** (AB) com la suma de les seccions dels arbres a l'altura de 1.30 m des del terra per hectàrea expressat amb m^2/ha .
- La **distribució diametral** dels peus majors classificats per cada diàmetre mitjà entre 10 cm fins a 60 cm o més amb intervals de 5 cm. Els diàmetres es mesuren a 1.30 de terra per cada arbre de la mostra.
- L'**àrea basal o basimètrica** (AB) per cada espècie arbòria amb peus majors del rodal en m^2/ha .

Per a l'estrat arbustiu s'enumeren els arbustos o arbres que encara es troben en estat arbustiu que són més abundants. La FCC i l'alçada mitjana dominant també s'enumera en cas que s'hagi recollit la dada. Només en el darrer treball de camp s'han recollit de forma independent les espècies herbàcies més abundants que també s'han inclòs.

En la Figura 4-7 es mostra la Fitxa Descriptiva 2 dels rodals 19, 4, 7 i 6 amb les principals dades mesurades a camp. En l'Annex 3 es mostren la resta de fitxes descriptives portades a terme en el treball de camp. Aquests quatre rodals han estat seleccionats per fer els primers tests entre la informació de camp i la dades de satèl·lit ja que tenen una FCC molt alta, i una espècie arbòria dominant important que defineix clarament el contingut del rodal.

FITXA DESCRIPTIVA	(2/2)	RODAL	19	Principal																																				
		TFA	uredes (Qs)																																					
Formació arbòria i arbustiva general																																								
PTGMF-1-2001																																								
Nombre de peus total	1260	FCC	85%	Àrea basal total 45,89 m ²																																				
Altura arbre dominant	10-12 m																																							
<p>Classificació diametral</p> <table border="1"> <caption>Data for PTGMF-1-2001 Diameter Classification</caption> <thead> <tr> <th>Diàmetre mitjà (cm)</th> <th>Qs (peus/ha)</th> <th>Qi (peus/ha)</th> <th>Au (peus/ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CD10</td><td>70</td><td>190</td><td>100</td></tr> <tr><td>CD15</td><td>70</td><td>140</td><td>40</td></tr> <tr><td>CD20</td><td>100</td><td>50</td><td>0</td></tr> <tr><td>CD25</td><td>290</td><td>40</td><td>0</td></tr> <tr><td>CD30</td><td>130</td><td>30</td><td>0</td></tr> <tr><td>CD35</td><td>70</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>		Diàmetre mitjà (cm)	Qs (peus/ha)	Qi (peus/ha)	Au (peus/ha)	CD10	70	190	100	CD15	70	140	40	CD20	100	50	0	CD25	290	40	0	CD30	130	30	0	CD35	70	0	0	<p>Àrea basal (m²/ha)</p> <table border="1"> <caption>Data for PTGMF-1-2001 Basal Area</caption> <thead> <tr> <th>Àrea basal (m²/ha)</th> <th>Porcentatge (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>34.95</td><td>76%</td></tr> <tr><td>9.49</td><td>21%</td></tr> <tr><td>1.45</td><td>3%</td></tr> </tbody> </table>			Àrea basal (m ² /ha)	Porcentatge (%)	34.95	76%	9.49	21%	1.45	3%
Diàmetre mitjà (cm)	Qs (peus/ha)	Qi (peus/ha)	Au (peus/ha)																																					
CD10	70	190	100																																					
CD15	70	140	40																																					
CD20	100	50	0																																					
CD25	290	40	0																																					
CD30	130	30	0																																					
CD35	70	0	0																																					
Àrea basal (m ² /ha)	Porcentatge (%)																																							
34.95	76%																																							
9.49	21%																																							
1.45	3%																																							
Sotabosc	brolla d'estepes, ginesta, bruc																																							
Observacions	Plantació a les vores pistes pins insignes Malures associades al suro																																							
PTGMF-2-2014																																								
Nombre de peus total	1190	FCC	75%	Àrea basal total 29.00 m ²																																				
Altura arbre dominant	13 m																																							
Sotabosc	Arboç, esbarzer, bruc	FCC	50%	H 2m																																				
Observacions	Segueixen creixent els pins insignes als camins Segueix afectada la sureda per malures Estassada, extracció de suro i tractament fitosanitari 2018																																							
TC-3-2021																																								
Nombre de peus total	1497	FCC	75%	Àrea basal total 63.93 m ²																																				
Altura arbre dominant	12-15 m																																							
<p>Classificació diametral</p> <table border="1"> <caption>Data for TC-3-2021 Diameter Classification</caption> <thead> <tr> <th>Diàmetre mitjà (cm)</th> <th>Qi (peus/ha)</th> <th>Qs (peus/ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CD10</td><td>350</td><td>100</td></tr> <tr><td>CD15</td><td>260</td><td>0</td></tr> <tr><td>CD20</td><td>160</td><td>40</td></tr> <tr><td>CD25</td><td>160</td><td>40</td></tr> <tr><td>CD30</td><td>0</td><td>130</td></tr> <tr><td>CD35</td><td>0</td><td>230</td></tr> <tr><td>CD40</td><td>0</td><td>40</td></tr> <tr><td>CD45</td><td>0</td><td>40</td></tr> </tbody> </table>		Diàmetre mitjà (cm)	Qi (peus/ha)	Qs (peus/ha)	CD10	350	100	CD15	260	0	CD20	160	40	CD25	160	40	CD30	0	130	CD35	0	230	CD40	0	40	CD45	0	40	<p>Àrea basal (m²/ha)</p> <table border="1"> <caption>Data for TC-3-2021 Basal Area</caption> <thead> <tr> <th>Àrea basal (m²/ha)</th> <th>Porcentatge (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>43.72</td><td>68%</td></tr> <tr><td>20.21</td><td>32%</td></tr> </tbody> </table>			Àrea basal (m ² /ha)	Porcentatge (%)	43.72	68%	20.21	32%			
Diàmetre mitjà (cm)	Qi (peus/ha)	Qs (peus/ha)																																						
CD10	350	100																																						
CD15	260	0																																						
CD20	160	40																																						
CD25	160	40																																						
CD30	0	130																																						
CD35	0	230																																						
CD40	0	40																																						
CD45	0	40																																						
Àrea basal (m ² /ha)	Porcentatge (%)																																							
43.72	68%																																							
20.21	32%																																							
Sotabosc arbustiu	Arboç alzina, bruc, molt abundant	FCC	35%	H 1m																																				
Sotabosc herbaci	Esbarzer, rogeta, flacida negra, falguera																																							
Observacions	Segueixen creixent els pins insignes als camins Segueix afectada la sureda per malures																																							

FITXA DESCRIPTIVA	(2/2)	RODAL	4	Principal
		TFA	Alzinar muntanyec (Qi)	
Formació arbòria i arbustiva general				
PTGMF-1-2001				
Nombre de peus total	1696	FCC	75%	Àrea basal total 32.27 m ²
Altura arbre dominant	10 m			
<p>Classificació diametral</p>		<p>Àrea basal (m²/ha)</p>		
Sotabosc	esbarzer, arítjol, bruc i brolla d'estepes			
Observacions	Massa forestal no intervinguda des dels anys 50-60			
PTGMF-2-2014				
Nombre de peus total	1300	FCC	77%	Àrea basal total 33.00 m ²
Altura arbre dominant	8 m			
Sotabosc	Bruc i arboç	FCC	80%	H 3 m
Observacions	No hi han tasques forestals			
TC-3-2021				
Nombre de peus total	1728	FCC	75%	Àrea basal total 47.68 m ²
Altura arbre dominant	10-12 m			
<p>Classificació diametral</p>		<p>Àrea basal (m²/ha)</p>		
Sotabosc arbustiu	Alguna heura i arboç amb peus morts	FCC	5%	H 1 m i 3 m
Sotabosc herbaci				
Observacions	Gairebé inexistent per afogament i falta de llum derivada de la capa arbòria densa Peus menors d'alzinar, roure, arboç			
	No hi han tasques forestals			

FITXA DESCRIPTIVA	(2/2)	RODAL	7	Principal																																										
		TFA	Plantacions de Pi Insigne (Pr)																																											
Formació arbòria i arbustiva general																																														
PTGMF-1-2001																																														
Nombre de peus total	798	FCC	80%	Àrea basal total 35.12 m ²																																										
Altura arbre dominant	16 m																																													
<p style="text-align: center;">Classificació diametral</p> <table border="1"> <caption>Data for PTGMF-1-2001 Diameter Classification</caption> <thead> <tr> <th>Diàmetre mitjà (cm)</th> <th>Cs (peus/ha)</th> <th>Pr (peus/ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CD10</td><td>40</td><td>55</td></tr> <tr><td>CD15</td><td>40</td><td>95</td></tr> <tr><td>CD20</td><td>15</td><td>165</td></tr> <tr><td>CD25</td><td>15</td><td>165</td></tr> <tr><td>CD30</td><td>0</td><td>140</td></tr> <tr><td>CD35</td><td>0</td><td>40</td></tr> <tr><td>CD50</td><td>0</td><td>10</td></tr> </tbody> </table>		Diàmetre mitjà (cm)	Cs (peus/ha)	Pr (peus/ha)	CD10	40	55	CD15	40	95	CD20	15	165	CD25	15	165	CD30	0	140	CD35	0	40	CD50	0	10	<p style="text-align: center;">Àrea basal (m²/ha)</p> <table border="1"> <caption>Data for PTGMF-1-2001 Basal Area</caption> <thead> <tr> <th>Especie</th> <th>Àrea basal (m²/ha)</th> <th>Porcentatge</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Pr</td><td>32.80</td><td>93%</td></tr> <tr><td>Cs</td><td>2.32</td><td>7%</td></tr> </tbody> </table>			Especie	Àrea basal (m ² /ha)	Porcentatge	Pr	32.80	93%	Cs	2.32	7%									
Diàmetre mitjà (cm)	Cs (peus/ha)	Pr (peus/ha)																																												
CD10	40	55																																												
CD15	40	95																																												
CD20	15	165																																												
CD25	15	165																																												
CD30	0	140																																												
CD35	0	40																																												
CD50	0	10																																												
Especie	Àrea basal (m ² /ha)	Porcentatge																																												
Pr	32.80	93%																																												
Cs	2.32	7%																																												
Sotabosc	Bruc d'escombres, arboç, aritjol, lligabosc																																													
Observacions	No hi han tasques forestals edat del bosc 14 anys																																													
PTGMF-2-2014																																														
Nombre de peus total	590	FCC	80%	Àrea basal total 42.00 m ²																																										
Altura arbre dominant	22																																													
Sotabosc	Falguera, esbarzer	FCC	100%	H 1.5																																										
Observacions	No hi ha gestió forestal Peus morts de castanyer. Afectats per plaga vespa de Castanyer No hi han tasques forestals																																													
TC-3-2021																																														
Nombre de peus total	546	FCC	90%	Àrea basal total 62.4 m ²																																										
Altura arbre dominant	22-24 m																																													
<p style="text-align: center;">Classificació diametral</p> <table border="1"> <caption>Data for TC-3-2021 Diameter Classification</caption> <thead> <tr> <th>Diàmetre mitjà (cm)</th> <th>PR (peus/ha)</th> <th>Qi (peus/ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CD15</td><td>55</td><td>15</td></tr> <tr><td>CD20</td><td>15</td><td>15</td></tr> <tr><td>CD25</td><td>15</td><td>0</td></tr> <tr><td>CD30</td><td>70</td><td>0</td></tr> <tr><td>CD35</td><td>70</td><td>0</td></tr> <tr><td>CD40</td><td>110</td><td>0</td></tr> <tr><td>CD45</td><td>110</td><td>0</td></tr> <tr><td>CD50</td><td>40</td><td>0</td></tr> <tr><td>CD55</td><td>15</td><td>0</td></tr> <tr><td>CD60</td><td>15</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>		Diàmetre mitjà (cm)	PR (peus/ha)	Qi (peus/ha)	CD15	55	15	CD20	15	15	CD25	15	0	CD30	70	0	CD35	70	0	CD40	110	0	CD45	110	0	CD50	40	0	CD55	15	0	CD60	15	0	<p style="text-align: center;">Àrea basal (m²/ha)</p> <table border="1"> <caption>Data for TC-3-2021 Basal Area</caption> <thead> <tr> <th>Especie</th> <th>Àrea basal (m²/ha)</th> <th>Porcentatge</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>PR</td><td>61.670</td><td>99%</td></tr> <tr><td>Qi</td><td>0.733</td><td>1%</td></tr> </tbody> </table>			Especie	Àrea basal (m ² /ha)	Porcentatge	PR	61.670	99%	Qi	0.733	1%
Diàmetre mitjà (cm)	PR (peus/ha)	Qi (peus/ha)																																												
CD15	55	15																																												
CD20	15	15																																												
CD25	15	0																																												
CD30	70	0																																												
CD35	70	0																																												
CD40	110	0																																												
CD45	110	0																																												
CD50	40	0																																												
CD55	15	0																																												
CD60	15	0																																												
Especie	Àrea basal (m ² /ha)	Porcentatge																																												
PR	61.670	99%																																												
Qi	0.733	1%																																												
Sotabosc arbustiu	Heura, esbarzer i bruc	FCC	80%	H 2 m																																										
Sotabosc herbaci	Falguera																																													
Observacions	Peus morts de castanyers. Peus menors alzina, algun arboç i alzina sureda																																													

FITXA DESCRIPTIVA (2/2)	RODAL	6	Principal																																
	TFA	Castanyedes (Cs)																																	
Formació arbòria i arbustiva general																																			
PTGMF-1-1995																																			
Nombre de peus total	1488	FCC	100% Àrea basal total no data																																
Altura arbre dominant	7 m																																		
Sotabosc	falguera, esbarzer i ginesta																																		
Observacions	Tallada arreu el 1983																																		
	Peus menors 1463, peus Cd10 25																																		
PTGMF-2-2005																																			
Nombre de peus total	3214	FCC	80% Àrea basal total 49.92 m ²																																
Altura arbre dominant	18 m																																		
<p>Classificació diametral</p> <table border="1"> <caption>Data for PTGMF-1-1995 Diameter Classification</caption> <thead> <tr> <th>Diàmetre mitjà (cm)</th> <th>Fe (peus/ha)</th> <th>Cs (peus/ha)</th> <th>Ia (peus/ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CD10</td> <td>~100</td> <td>~1000</td> <td>~150</td> </tr> <tr> <td>CD15</td> <td>~50</td> <td>~1350</td> <td>~20</td> </tr> <tr> <td>CD20</td> <td>~50</td> <td>~250</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>CD25</td> <td>~0</td> <td>~50</td> <td>~0</td> </tr> </tbody> </table>		Diàmetre mitjà (cm)	Fe (peus/ha)	Cs (peus/ha)	Ia (peus/ha)	CD10	~100	~1000	~150	CD15	~50	~1350	~20	CD20	~50	~250	~0	CD25	~0	~50	~0	<p>Àrea basal (m²)</p> <table border="1"> <caption>Data for PTGMF-1-1995 Basal Area</caption> <thead> <tr> <th>Species</th> <th>Àrea basal (m²)</th> <th>Percentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cs</td> <td>42.99</td> <td>86%</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>5.11</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>Ia</td> <td>1.81</td> <td>4%</td> </tr> </tbody> </table>		Species	Àrea basal (m ²)	Percentage	Cs	42.99	86%	Fe	5.11	10%	Ia	1.81	4%
Diàmetre mitjà (cm)	Fe (peus/ha)	Cs (peus/ha)	Ia (peus/ha)																																
CD10	~100	~1000	~150																																
CD15	~50	~1350	~20																																
CD20	~50	~250	~0																																
CD25	~0	~50	~0																																
Species	Àrea basal (m ²)	Percentage																																	
Cs	42.99	86%																																	
Fe	5.11	10%																																	
Ia	1.81	4%																																	
Sotabosc	Esbarzer, falguera, heures, arç. També s'observen claps amb peus menors de roure de fulla gran dominants																																		
Observacions	Aproximadament el 65% dels peus estan afectada pel xancre.																																		
	Estat sanitari deficient																																		
	Tractament contra el xancre 2008																																		
TC-3-2021																																			
Nombre de peus total	3072	FCC	85% Àrea basal total 74.77 m ²																																
Altura arbre dominant	25 m																																		
<p>Classificació diametral</p> <table border="1"> <caption>Data for TC-3-2021 Diameter Classification</caption> <thead> <tr> <th>Diàmetre mitjà (cm)</th> <th>Cs (peus/ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CD10</td> <td>~700</td> </tr> <tr> <td>CD15</td> <td>~1000</td> </tr> <tr> <td>CD20</td> <td>~950</td> </tr> <tr> <td>CD25</td> <td>~300</td> </tr> <tr> <td>CD30</td> <td>~100</td> </tr> </tbody> </table>		Diàmetre mitjà (cm)	Cs (peus/ha)	CD10	~700	CD15	~1000	CD20	~950	CD25	~300	CD30	~100	<p>Àrea basal (m²/ha)</p> <table border="1"> <caption>Data for TC-3-2021 Basal Area</caption> <thead> <tr> <th>Species</th> <th>Àrea basal (m²/ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cs</td> <td>74.77</td> </tr> </tbody> </table>		Species	Àrea basal (m ² /ha)	Cs	74.77																
Diàmetre mitjà (cm)	Cs (peus/ha)																																		
CD10	~700																																		
CD15	~1000																																		
CD20	~950																																		
CD25	~300																																		
CD30	~100																																		
Species	Àrea basal (m ² /ha)																																		
Cs	74.77																																		
Sotabosc arbustiu	Heura, esbarzer, galzeran, boix grèvol	FCC	10% H 1m i 3m																																
Sotabosc herbaci																																			
Observacions	Gairebé inexistent per afogament i falta de llum derivada de la capa arbòria densa																																		
	Peus menors d'alzinar, roure, arboç.																																		

Figura 4-7: Segona plana de la Fitxa descriptiva dels rodals 19, 4, 7, i 6. Sureda nord amb les dades dendromètriques

4.2.4 Les dades meteorològiques

La temperatura de l'aire i del sòl i el règim de precipitacions al llarg de l'any són elements claus pel creixement de les plantes junt amb altres factors com la il·luminació solar, la altitud, l'orientació i la latitud. Sovint la temperatura i la disponibilitat d'aigua en forma de pluja o en el sòl van prou correlacionades. En l'entorn geogràfic del Montseny habitualment les temperatures altes són a l'estiu i les pluges són menys abundants. Però any a any, o estació a estació, les dades poden ser molt diferents i afectar de forma diferent a l'estat de la vegetació i, per tant, dels boscos. Les sèries històriques obtingudes de les estacions de Breda i del Turó de l'Home del Servei Meteorològic de Catalunya han estat aprofitades per obtenir tendències anuals de temperatura i precipitació a partir de les anomalies de la seves mitjanes del període estudiat. Aquestes tendències es consideren per a cada rodal d'estudi per poder ser contrastades amb les dades de satèl·lit.

La sèrie històrica des de l'any 1950 fins el 2020 per a les dues estacions només conté la precipitació mensual. El conjunt de dades de les dues estacions es van comparar anualment i es va comprovar que efectivament plou més al cim de la muntanya que a Breda, però els comportaments són similars dintre de la variació de registres. Hem considerat que la quantitat de precipitació a la primavera, durant la rebrotada dels arbres, es quan pot ser més significativa per veure les possibles diferències de l'estat de la vegetació. En aquest sentit s'ha calculat l'anomalia de precipitació de la primavera de tot el període respecte al seu propi període. En concret s'ha calculat el conjunt de precipitació dels mesos de abril, maig i juny i s'ha observat quan lluny dista de la mitjana global. En la Figura 4-8 i la Figura 4-9 es pot observar que les pluges són molt irregulars en la primavera amb uns anys amb pluges molt quantioses i altres anys amb dèficit d'aigua molt clar.

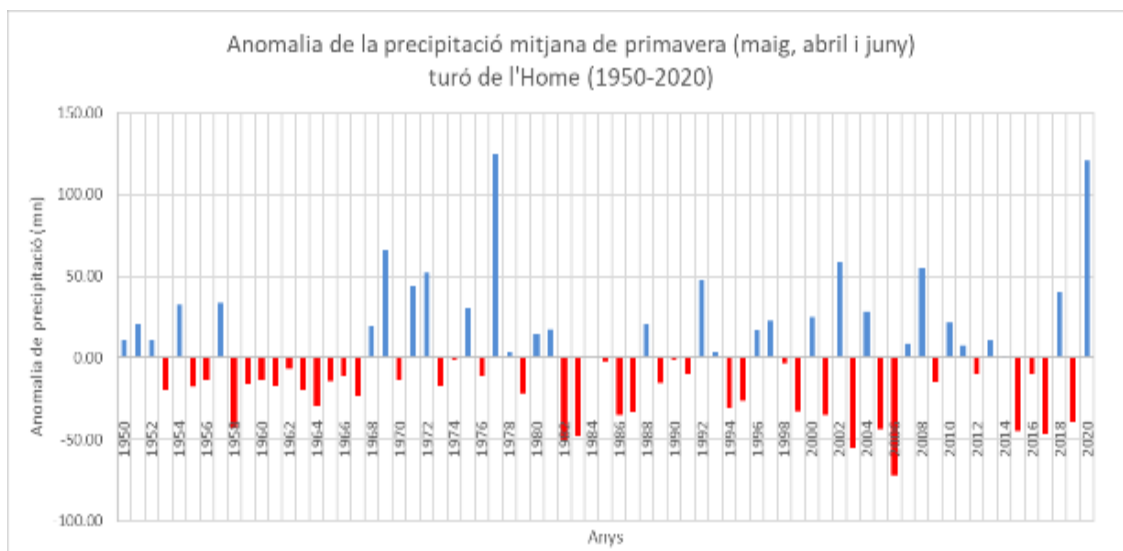


Figura 4-8. Anomalies de la precipitació mitjana de la primavera per a l'estació meteorològica del turó de l'Home entre l'any 150 i 2020. Font: SMC

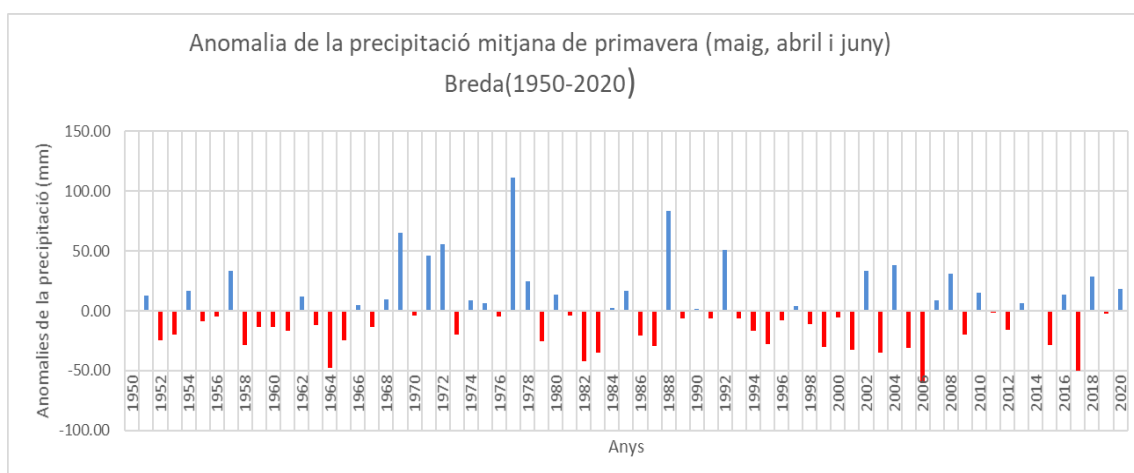


Figura 4-9; Anomalies de la precipitació mitjana de la primavera per a l'estació meteorològica de Breda entre l'any 1950 i 2020. Font: SMC

L'esquema d'anomalies és molt semblant per a les dues estacions. Així que s'ha considerat fer una mitjana de les anomalies de les precipitacions totals en aquest període per les dues estacions i obtenir una variable d'anomalia de pluja per cada rodal. En la Figura 4-10 es veu com la mitjana segueix clarament la tendència de les anomalies any a any de les dues estacions. Els valors mitjans de les anomalies de primavera en precipitació són entrats com a dades observables a cada rodal.

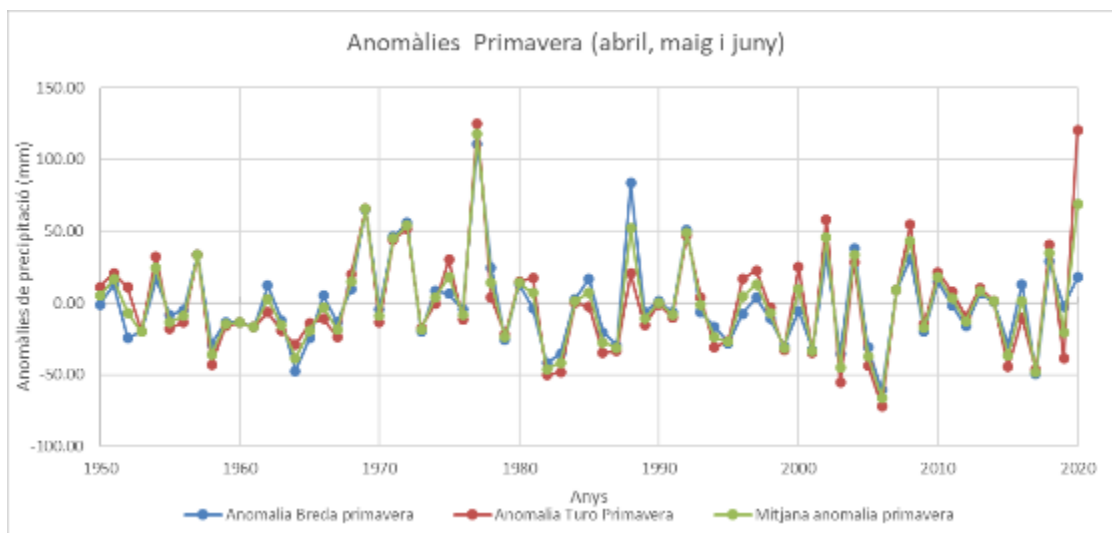


Figura 4-10: Comparació d'els anomalies de precipitació en la primavera en es dues estacions meteorològiques i la seva mitjana calculada. Font: SMC

La sèrie històrica des de l'any 1950 fins el 2020 per a la temperatura mensual només està disponible per l'estació del Turó de l'Home. No ha estat possible comparar-les amb les dades de Breda però sabem que les temperatures són més fredes quan més altura assolim a la muntanya. Per defugir de les temperatures absolutes i veure les variacions anuals s'han calculat les anomalies anuals de la temperatura màxima mitjana tal i com s'ha representat en la Figura 2-5. Aquestes dades comparades amb les anomalies de la precipitació permetran detectar els anys més secs i menys plujosos.

Les temperatures mínimes mitjanes del Turó de l'Home no s'han considerat ja que moltes d'elles són per sota de 0°C. Mentre que a la muntanya mitjana del Montseny és molt puntual tenir temperares abundants per sota de 0°C tot i l'altura. Es prou estudiat el fenomen d'inversió tèrmica a l'hivern a la muntanya mitjana del Montseny.

Per veure aquest efecte més clar s'han recollit les dades no normalitzades de temperatura mensuals, màximes i mínimes pels dies que es disposaven de l'estació de Breda des del 1994 fins el 2020 i s'ha calculat els valor mitjà mensual per a les dues. En la Figura 4-11 es mostren les temperatura màximes mitjanes per cada mes. Els mesos més calorosos es destaquen en vermell i els més freds en verd. Apareixen com anys de molta calor l'any 1994 o el 2003 i anys on la calor és persistent durant molts mesos com

el 2009 o 2015. Aquesta informació confirma en bona mesura els resultats obtinguts pel càlcul d'anomalies de la temperatura màxima a l'estació del turó de l'Home.

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gener	13.58	14.16	14.68	13.36	14.35	13.85	13.76	14.76	14.12	13.82	14.84	14.19	12.61		16.44	13.15	11.77	13.09	14.52	14.77	14.93	15.61	16.51	12.64	16.09	14.64	15.03
Febrer	14.73	18.07	14.22	18.17	17.57	14.50	17.54	16.07	17.21	12.69	14.73	12.57	14.55	17.25	16.40	14.82	13.54	15.82	14.03	14.15	16.02	14.79	17.00	17.24	12.23	18.56	18.71
Març	20.93	17.79	15.76	22.35	20.10	18.61	19.68	21.39	19.39	19.06	15.76	16.85	19.00		17.40	18.21	16.44	16.81	20.77	16.88	19.45	18.24	17.39	20.60	17.84	20.87	16.89
Abril	19.18	21.57	18.53	21.83	20.00	21.30	19.95	20.25	20.02	20.95	17.45	20.65	22.17		20.45	19.45	21.00	23.58	18.47	19.93	22.48	22.17	20.46	21.73	22.41	20.07	20.63
Maig	24.18	22.92	23.50	25.77	23.98	25.82	25.50	25.17	21.77	24.86	24.57	26.55	26.52		22.98	27.55	22.47	22.50	25.45	20.97	23.38	27.11	23.05	26.17	24.06	22.86	26.74
Juny	29.70	25.60	27.80	25.91	28.14	28.52	28.47	29.19	29.28	33.22	29.25	30.77	30.72		26.98	29.58	27.19	25.04	30.27	26.94	28.69	30.86	28.55	31.79	28.23	30.57	20.87
Juliol	34.03	34.75	30.92	29.65	32.94	30.86	29.50	31.09	29.42	33.42	30.73	31.95	34.95		30.68	31.40	32.79	28.29	30.46	32.89	29.28	33.75	32.43	32.28	32.62	32.95	20.87
Agost	34.33	30.27	29.76	31.89	31.29	31.68	31.94	32.65	27.90	35.76	31.13	29.08	28.97		30.84	33.06	30.48	30.81	33.65	31.02	29.17	30.61	32.41	32.44	32.18	32.78	26.80
Setembre	25.63	23.97	24.35	28.93		28.79	28.42	25.47	25.82	26.67	28.10	27.97	26.93		26.57	27.60	26.03	27.71	27.70	28.46	27.93	26.19	29.73	25.49	28.96	28.91	28.01
Octubre	20.83	25.18	20.86	23.29		22.93	20.98		22.50	19.98	25.19	22.68	24.47		22.03	23.94	21.19	25.19	22.94	24.48	25.80	22.20	22.54	25.05	22.48	25.17	21.56
Novembre	18.87	18.83	16.03		16.07	15.32	16.95	16.63	18.03	18.00	17.45	16.12			15.90	18.77	16.38	14.92	18.06	17.73	19.11	20.51	18.09	18.17	17.47	17.64	18.93
Desembre	14.85	14.79	14.01		14.54	13.88	15.46	12.02	14.97			12.68			12.47	14.33	11.46	15.30	15.29	15.03	14.39	17.13	16.52	13.75	16.87	15.37	14.84

Figura 4-11. Temperatura màxima mitjana calculada pels dies enregistrats de cada mes (1994-2020). Els mesos més calorosos es destaquen en vermell i els mesos més fred en verd. Font: SMC

S'ha calculat el mateix per a les temperatures mínimes mitjanes mensuals en el mateix període tot i que encara es disposa de menys mesures. Malgrat tot, aquestes aporten dades rellevants sobre temperatures per sota de 0°C que s'han de considerar a l'estar més pròximes de l'àrea d'estudi. En la Figura 4-12 es mostren les temperatures mínimes mitjanes per mesos de l'any 1994 fins el 2020 i cal destacar alguns mesos molt freds, alguns d'ells amb mitjanes per sota de 0°C. Les baixes temperatures són un limitador pel creixement de les plantes, tot i que el seu impacte pot ser molt diferent segons l'espècie. Les masses forestals d'aquest estudi es poden veure limitades en el seu desenvolupament i creixement normal amb temperatures baixes. Segons l'espècie arbòria pot ser més tolerant al fred, però si el fred no és habitual pot generar algun estrès que cal ser valorat.

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gener	0.46	0.46	3.69		0.84	0.76		5.28	2.52	-0.76	2.18	-0.63	1.47		3.23	1.65	2.26	1.79	1.39	1.64	2.29	1.46	3.27	1.12	4.01	-0.17	3.08
Febrer	2.25	4.04	0.10		1.86	-0.56		3.67	3.35	1.64	2.57	-0.34	1.38	3.61	3.97	2.41	2.42	2.22	-1.38	1.42	2.88	1.06	3.74	5.60	1.29	1.49	5.94
Març	5.00	2.52	3.12	2.78	1.00	3.98		7.86	6.33	4.34	4.15	2.95	4.90		4.31	5.32	4.55	5.39	4.47	5.94	4.30	6.14	4.08	6.35	4.63	4.21	4.05
Abril	4.25	5.36	5.38	5.78		5.93		6.87	8.20	6.62	5.82	6.53	7.23		6.73	7.37	7.33	9.56	6.97	7.83	8.29	7.04	7.62	7.26	8.75	7.42	9.07
Maig	9.85	8.18	7.82	10.29		10.92		11.60	9.39	10.06	10.76	10.40	11.16		11.13	11.98	10.26	#DIV/0!	11.12	9.32	9.36	11.41	9.88	11.77	11.28	8.23	13.15
Juny	12.56	12.94	11.76			13.40		14.95	14.25	15.42	15.12	15.20	13.98		14.28	15.67	14.58	13.66	16.03	13.37	13.74	15.11	14.78	17.27	15.97	13.35	13.17
Juliol	17.63	18.86			15.01	16.85		16.95	16.10	17.16	16.56	17.26	18.79		17.05	17.77	19.43	16.52	17.11	17.56	15.62	19.21	17.95	17.41	17.77	17.66	
Agost	12.36	11.39			15.97	17.44		17.97	15.75	17.26	17.78	14.98	15.61		17.58	19.18	17.98	17.40	19.07	16.82	16.49	16.61	17.17	17.95	18.46	16.83	
Setembre	12.36	11.39			12.98		13.42	13.20	13.18	14.60	14.28	14.93			13.88	14.88	14.45	13.83	14.63	13.82	14.47	12.86	15.33	12.78	15.89	13.04	13.50
Octubre	9.85	11.84				10.01	10.21		10.49	9.95	11.95	10.96	12.55		10.60	11.19	9.89	10.32	11.19	12.63	11.33	9.24	11.91	11.12	10.78	8.98	7.65
Novembre	6.67	2.84			2.96	1.98	5.51	4.23	5.94	4.68	4.11	4.80			4.61	7.16	4.85	7.46	7.52	4.85	7.27	5.10	6.98	3.14	7.14	3.32	6.53
Desembre	1.78	3.44			0.87	1.32	5.02	-0.10	3.61			-1.16			2.58	3.68	1.31	3.00	2.90	1.55	1.85	3.39	4.06	1.41	4.02	4.30	2.21
TM mitjana/è	7.97	7.62	2.65	1.90	3.40	7.44	1.74	9.38	9.13	9.11	9.64	7.77	10.27	3.61	9.18	9.90	9.28	9.23	9.29	8.94	9.02	9.11	9.75	9.46	10.05	8.34	7.47

Figura 4-12: Temperatura mínima mitjana calculada pels dies enregistrats de cada mes (1994-2020). Els mesos més calorosos es destaquen en vermell i els mesos més fred en blau. Els mesos amb temperatures per sota de 0°C es destaquen en vermell. Font: SMC

Així com a dades observables s'han recollit tots els mesos on les temperatures mitjanes es troben per sota de 0°C.

4.2.5 La gestió forestal sostenible

Els rodals seleccionats com a principals són aquells que formen part d'un parell de PTGMFs que van ser aprovats per planificar i actuar sota una gestió forestal sostenible. Des del primer PTGMF fins l'actualitat la planificació de la gestió de les forestes a Catalunya ha anat evolucionant amb instruments cada vegada més específics per poder realitzar una gestió sostenible. En els darrers 15 anys cal destacar l'instrument de planificació multifuncional de les forestes recollit en el document ORGEST que descriu les Tipologies Forestals Arbrades (TFA) de Catalunya segons les formacions arbòries, arbustives i herbàcies lligades a la gestió del territori i presenta diferents models de gestió segons els objectius preferents de cada tipologia forestal a gestionar (Centre de la Propietat Forestal, 2011).

Aquest manual d'orientació és el què es va utilitzar per a confeccionar el darrer PTGMF de Can Breta i el que també ens ha orientat per classificar la tipologia arbrada dels inventaris actuals de cada rodal, recollit en el camp "Dades inventari: Tipologia forestal arbrada" de la Fitxa Descriptiva 1. Així mateix ens ha guiat per identificar el model de gestió que es du a terme en cadascun d'ells.

Els rodals principals han estat classificats en les següents TFA segons el Manual ORGEST:

"SUREDES (Qs): *Bosc on la surera (Quercus suber) representa més del 80% de l'àrea basal. Es distribueix exclusivament per les comarques de nord-orientals litorals i prelitorals inclòs el vessant empordanès del Pirineu. Sobre substrats silicis. Diverses orientacions.*

BOSCOS MIXTOS DE SURERA I ALZINES (Qs_Qü): *Bosc on la surera és dominant i l'alzina (Quercus ilex ssp. ilex), o un conjunt d'altres Quercus on l'alzina és majoritària, la segueix en importància, amb almenys el 20% de l'àrea basal. Hi pot haver presència significativa de pins, principalment pinastre o pi pinyer.*

Es distribueix per les comarques nord-orientals litorals i prelitorals, inclòs el vessant empordanès del Pirineu. Sobre substrats silicis. Orientacions diverses.

CASTANYEDES (Cs): *Bosc on el castanyer (Castanea sativa) representa més del 80% de l'àrea basal. Es distribueix per les comarques litorals i prelitorals del quadrant nord-est de Catalunya i algunes localitzacions aïllades de la serra de Prades.*

En general es troba en altituds inferiors als 1.200 m. Els substrats són sempre silicis. Orientacions d'obaga.

PLANTACIONS DE PI INSIGNE (Pr): Plantacions pures on el pi insigne (*Pinus radiata*) representa més del 80% de l'AB. A Catalunya ocupa una superfície propera a les 4.000 ha localitzades pràcticament totalment a l'àrea del Montseny-Guilleries i Montnegre.

ALZINAR MUNTANYEC (Qii): Boscos on l'alzina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) representa més del 80% de l'àrea basal. Es distribueix per les comarques prelitorals i, especialment, per les comarques interiors del quadrant nord-est de Catalunya.

ALZINAR MUNTANYEC AMB ALTRES PLANIFOLIS (QiiMUN_PI): dominant i altres planifolis com ara el castanyer (*Castanea sativa*), faig (*Fagus sylvatica*), freixe de fulla gran (*Fraxinus excelsior*), bedolls (*Betula pendula*), cirerer (*Prunus avium*), aurons i blades (*Acer sp.*) grèvol (*Ilex aquifolium*), etc., tenen en conjunt almenys el 20% de l'àrea basal.

També poden aparèixer roures (*Quercus humilis*, *Q. canariensis*, *Q. cerrioides*, *Q. petraea*) o arboç (*Arbutus unedo*), sempre simultàniament amb una espècie o diverses espècies del grup anterior. Es distribueix per les comarques prelitorals per sobre dels 800 m i, especialment, per les comarques interiors del quadrant nord-est de Catalunya (Osona, Garrotxa, Ripollès). Els substrats són diversos, per bé que majoritàriament silicis. Diverses orientacions.”

Pels rodals secundaris s'ha considerat la TFA estimada pel coneixement directe i la fotointerpretació de les ortofotos de l'ICGC. Aquestes tipologies estimades seran avaluades després d'aplicar les metodologies d'Observació de la Terra en aquest estudi. En la Taula 4-4 s'indica les TFA calculades segons el treball de camp pels rodals principals i les TFA estimades pels rodals secundaris.

Taula 4-4: Classificació dels rodals segons les Tipologies Forestals Arbrades (TFA) determinada per als rodals principals (negreta) i estimada per als rodals secundaris

Nº Rodal	Tipus rodal	Nom rodal	Tipologies forestals arbrades (TFA) actuals i potencials	Àrea Basal (AB)
1	Principal	Alzinar sud del Castellar	Alzinar muntanyec amb altres planifolis (QiiMu_PI)	67% Qii
2	Secundari	Baga de Can Torrent	Castanyedes (Cs)	100% Cs
3	Principal	Sureda sud	Suredes (Qs)	96% Qs
4	Principal	Alzinar de Can Romualdo	Alzinar muntanyec	78% Qi
5	Principal	Sureda de la Pedrera	Suredes (Qs)	87% Qs
6	Principal	Baga de Corbera	Castanyedes (Cs)	86% Cs
7	Principal	Pineda de Castellar	Plantacions de Pi Insigne (Pr)	99% Pr

8	Principal	Pineda de Breta	Plantacions de Pi Insigne (Pr)	100% Pr
9	Secundari	Pineda Sant Climent Nord	Plantacions de Pi Insigne (Pr)	
10	Secundari	Pineda Pla de Saba	Plantacions de Pi Insigne (Pr)	
11	Secundari	Sureda Can Joia 2	Suredes (Qs)	
12	Secundari	Pineda Can Rumia	Plantacions de Pi Insigne (Pr)	
13	Secundari	Pineda Can Flassada	Plantacions de Pi Insigne (Pr)	
14	Principal	Pineda de Can Amat	Plantacions de Pi Insigne (Pr)	99% Pr
15	Secundari	Pineda Sant Climent Sud	Plantacions de Pi Insigne (Pr)	
16	Secundari	Sureda Can Joia 1	Suredes (Qs)	
16	Secundari	Alzinar El Castell	Alzinar muntanyec amb altres planifolis (QiiMu_PI)	
19	Principal	Sureda Nord	Bosc mixtos de surera i alzines (Qs_Qii)	68% Qs
20	Secundari	Baga de Can Roig	Castanyedes (Cs)	
22	Principal	Alzinar del Sot de Breta	Alzinar muntanyec amb altres planifolis (QiiMu_PI)	68% Qii
23	Principal	Bosc mixte de Castellar	Bosc mixtos de surera i alzines (Qs_Qii)	48% Qs
24	Secundari	Sureda de la Mel	Suredes (Qs)	
25	Secundari	Sureda de de l'Arboç	Suredes (Qs)	

La gestió forestal de cada rodal principal varia substancialment des del primer PTGMF que es va realitzar a l'any 1994 tot i que teòricament totes les UA planificades haurien tingut tasques forestals acotades al temps. Els motius són diversos. Un dels principals és la capacitat econòmica per poder-les executar i que va molt lligada al cicle de subvencions de la Generalitat de Catalunya amb l'aportació parcial de fons europeus i dels ajuts menors de la Diputacions de Barcelona i Girona al Parc Natural del Montseny. En la majoria del casos algunes tasques han estat planificades en el PTGMF per alguns anys i no s'han pogut fer fins anys després, demorant les tasques següents que van lligades a la praxis forestal. Així doncs hem recollit les tasques forestals segons la seva execució.

En alguns rodals tot i la planificació no s'ha portat a terme cap actuació. Són els rodals principals 1, 4, 7, 8 i 22. La resta de rodals principals han tingut algun tipus d'actuació que es recull en les següents taules conjuntament amb les dates en què s'han realitzat els inventaris forestals i els fenòmens meteorològics significatius que han pogut tenir alguna incidència en la massa forestal.

Taula 4-5: Tasques silvícoles i dates meteorològiques significatives per als rodals amb gestió forestal entre l'any 1994 i 2020

Rodal 3: Tasques silvícoles i dates rellevants	Any	Data
Estassada	2000	
Extracció de suro	2000	
Tractament fitosanitari	2000	
<i>Treball de camp. Dendrometria</i>	2001	
Nevada	2010	07/03/2010
Onada de fred uns 10 dies	2012	13/02/2012
Estassada	2013	
Aclarida de millora	2013	
Lleva de suro de qualitat reduïda/despelegrinatge	2013	
Tractament fitosanitari	2013	
<i>Treball de camp. Inventari pericial</i>	2014	
Esclafit Viabrea	2019	23-24/10/2019
Temporal Glòria	2020	19-23/01/2020
<i>Treball de camp. Dendrometria</i>	2021	

Rodal 5: Tasques silvícoles i dates rellevants	Any	Data
Incendi forestal	1994	10/08/1994
<i>Treball de camp. Dendrometria</i>	1995	
Estassada	1998	
Extracció suro cremat	1999	
<i>Treball de camp. Dendrometria</i>	2005	
Nevada	2010	07/03/2010
Onada de fred uns 10 dies	2012	13/02/2012

Estassada	2013	
Extracció suro cremat	2013	
Temporal Glòria	2020	19-23/01/2020
Treball de camp. Dendrometria	2021	

Rodal 6: Tasques silvícoles i dates rellevants	Any	Data
Tallada arreu	1983	
<i>Treball de camp. Dendrometria</i>	1994	
Aclarida de tanys	2000	
<i>Treball de camp. Dendrometria</i>	2005	
Tractament contra el xancre	2008	30/04/2008
Nevada	2010	07/03/2010
Onada de fred uns 10 dies	2012	13/02/2012
Temporal Glòria	2020	19-23/01/2020
<i>Treball de camp. Dendrometria</i>	2021	

Rodal 14: Tasques silvícoles i dates rellevants	Any	Data	Edat dels arbres
<i>Treball de camp. Dendrometria</i>	1994		
Incendi forestal	1994	10/08/1994	
Repoblació de <i>Pinus radiata</i>	1995		
<i>Treball de camp. Dendrometria</i>	2005		10 anys
Nevada	2010	07/03/2010	
Onada de fred uns 10 dies	2012	13/02/2012	
Temporal Glòria	2020	19-23/01/2020	
<i>Treball de camp. Dendrometria</i>	2021		26 anys

Rodal 19: Tasques silvícoles i dates rellevants	Any	Data
Estassada	2001	
Extracció de suro	2001	
Tractament fitosanitari	2001	

<i>Treball de camp. Dendrometria</i>	2001	
Nevada	2010	07/03/2010
Onada de fred uns 10 dies	2012	13/02/2012
<i>Treball de camp. Inventari pericial</i>	2014	
Estassada	2018	Gener
Aclarida de millora	2018	Gener
Lleva de suro de qualitat reduïda/despelegrinatge	2018	primavera/estiu
Tractament fitosanitari	2018	primavera/estiu
Esclafit Viabrea	2019	23-24/10/2019
Temporal Glòria	2020	19-23/10/2020
<i>Treball de camp. Dendrometria</i>	2021	

Rodal 23: Tasques silvícoles i dates rellevants	Any	Data
Estassada	1999	
Nevada	2010	07/03/2010
Onada de fred uns 10 dies	2012	13/02/2012
Estassada	2018	Gener
Aclarida de millora	2018	Gener
Lleva de suro de qualitat reduïda/despelegrinatge	2018	primavera/estiu
Tractament fitosanitari	2018	primavera/estiu
Esclafit Viabrea	2019	23-24/10/2019
Temporal Glòria	2020	19-23/01/2020
<i>Treball de camp. Dendrometria</i>	2021	

4.2.5.1 Seguiment de la sostenibilitat de la gestió forestal de les suredes.

Arxiu fotogràfic propi

Durant les tasques forestals en el territori és important fer un seguiment de la seva evolució ecològica i comprovar que es garanteix la biodiversitat existent. La distribució de la biodiversitat dels rodals es pot descriure de forma quantitativa i qualitativa. Una de les iniciatives més recents és la creació de l'Índex de Biodiversitat Potencial (IBP) pels boscos gestionats a Catalunya que contempla la biodiversitat forestal pels boscos gestionats i que es troba en fase d'estudi (Baiges & Palero, 2021).

Pels rodals d'aquest estudi, la biodiversitat forestal quedaria descrita de forma quantitativa pels diferents inventaris de camp que s'han anat fent durant el període d'estudi. En canvi, de forma qualitativa es disposa d'altres dades no sistemàtiques però que ajuden el seguiment de l'evolució del rodal. Ens referim especialment als reculls fotogràfics de la gestió forestal i el seguiment de la fauna més visible a nivell de càmera fotogràfica durant llargs períodes de temps. Aquesta tasca s'ha fet essencialment en els rodals de sureda i el rodal mixta entre alzina i surera per comprovar que la seva ecologia i riquesa es manté abans i després de la intervenció forestal al llarg del temps. Són dades que corroboren la consolidació d'aquests paisatges i el manteniment de la seva biodiversitat (Barriocanal, 2003).

Els ecosistemes forestals més abundants de la muntanya mitjana al Montseny són els alzinars i les sureres. En concret les formacions de sureda són considerades com un Hàbitat d'Interès Comunitari (HIC-9330) per la UE (veure en l'apartat 2.2) especialment per què recull forces endemismes mediterranis. En el marc d'aquest estudi, s'han pres fotografies de la fauna silvestre de les suredes per observar-ne la seva presència. La presència i la conservació d'aquesta fauna garanteix en molts casos la presència d'altres animals com invertebrats, amfibis, rèptils i insectes, més escassos i més difícils de veure però prou importants per aquest ecosistema.

Són fotografies captades amb càmeres òptiques i infraroges de seguiment de fauna per moviment tant de dia com de nit. Cada fotografia també recull la data, l'hora i la temperatura. S'han recollit imatges on s'ha detectat la presència del senglar, el cabirol, la guineu, el gorjablanc, conill de bosc, la rata cellarda, la merla, el tudó, el pit roig i el gaig, entre d'altres.



Figura 4-13: Seguiment fotogràfic de la fauna silvestre en els rodals de sureda o bosc mixt de sureda (període entre 2017 i 2020)

Els rodals de seguiment fotogràfic han estat els rodals 3, 5, 19 i 23 durant els anys 2017 fins l'actualitat en diferents èpoques de l'any (Figura 4-13). Les càmeres han estat una mitjana d'un mes i mig en la mateixa zona i en alguns casos molt més temps. S'han fet milers de fotos automàticament pel moviment d'algun element, moltes vegades només pel moviment de les fulles amb l'aire. Però entre elles apareixen camades de senglars i cabirols, guineus solitaris que repeteixen la mateixa zona, moltes petites rates de bosc i sobre tot molts ocells típics dels alzinars i suredes d'aquests indrets.

Durant la gestió forestal també es prenen fotografies de les tasques realitzades i del l'estat dels arbres. En el cas de les suredes es fan fotografies de les estassades, les aclarides de regeneració de la massa, de l'estat del tronc i del suro extret. Són importants aquests testimonis fotogràfics per quan es torni actuar es pugui comparar si

hi ha hagut canvis o no. El rodal 3 i el rodal 19 que són les suredes més grans de Can Breta estaven afectades per diferents fongs i malures derivades de la mala praxis en extreure el suro fa uns 20 anys. Durant aquest temps s'ha fet un recull fotogràfic per veure l'estat i l'evolució. En la Figura 4-14 s'observen els efectes de corc del suro (*Coraebus undatus*). És una plaga que posa en perill la viabilitat comercial del suro, ja que es manifesta a partir d'un insecte que genera galeries durant la seva fase larvària entre el tronc i el suro. A l'imatge de l'esquerra es veuen els efectes del corc en èpoques passades ja que les seves galeries són molt fosques, mentre que a la imatge la dreta es detecta l'efecte de les galeries en el tronc de l'alzina surera, la petjada de les galeries fosques indica l'aparició de la plaga en pelades anteriors mentre que les galeries blanques indica presència de noves cavitats. L'aparició d'aquesta plaga sembla que pot anar associada al baix vigor de l'arbre i l'estrès hídric.



*Figura 4-14: Efectes del corc del suro (*Coraebus undatus*) en la pana del suro i en el tronc de l'arbre (rodal 19)*

De fet, en aquestes dos rodals l'extracció incorrecte del suro, en concret les pelades de 2000 i 2001, van provocar un deteriorament de molts arbres. En la Figura 4-15, en la imatge de l'esquerra, es pot observar els efectes de l'extracció del suro incorrecte al cap dels anys. A la dreta l'extracció correcte del suro, deixant una petita part de la pana que es deixa de llevar per la seva dificultat i evitant futures cicatrius del càmbium del tronc.



Figura 4-15: Lleva del suro i els seu efectes en el càmbium del troc

En la sureda del rodal 5, afectada totalment per l'incendi forestal de l'any 1994 caldrà veure els efectes sobre el desenvolupament i recuperació de les alzines sureres. Es tenen registres fotogràfics de com van morir sureres al cap d'uns anys d'haver passat el foc.

4.2.6 La informació de camp

Totes les dades recollides considerades, com els inventaris forestals a camp, el seguiment de les tasques forestals, les dades de les estacions meteorològiques, i els episodis meteorològics destacables s'han processat i s'han derivat a un conjunt coherent per cada rodal aportant una informació detallada i concreta que enriqueix l'etiqueta bàsica de la TFA.

Aquesta informació processada i elaborada es troba recollida en la mostra la Fitxa descriptiva 3 del rodal 3 on es codifica tota la informació que s'ha descrit anteriorment per la unitat de terreny estudiada. Aquesta informació servirà per seguir la traçabilitat dels canvis i evolucions de la massa forestal de cada rodal.

FITXA DESCRIPTIVA		(3/3)	Rodal 3																								
Any	Data	Tasca forestal	Inventari	Sota 0°C (des de 1994)	Anomalia Tempt màximes	Anomalia Tempt mínimes	Anomalia PPT màximes	Anomalia PPT mínimes	primavera	Orto tendència bosc domant	Orto tendència bosc secundari	Otros	Any	Data	Tasca forestal	Inventari	Sota 0°C (des de 1994)	Anomalia Tempt màximes	Anomalia Tempt mínimes	Anomalia PPT màximes	Anomalia PPT mínimes	primavera	Orto tendència bosc domant	Orto tendència bosc secundari	Otros		
1946													1994					1.54	-24		38				Idem. Gairebé no es veu la clariana		
1950				0.20	5	1							1995				0.03	-27		38							
1951				-1.25	17	2							1996				-1.10	5		38							
1952				-0.34	-7	3							1997				1.15	13		38							
1953				-0.54	-20	4							1998				0.78	-7		38							
1954				-0.85	25	5							1999				Feb -0.56	0.74	-31		38						
1955				-0.39	-13	6							2000		Estassada/ex traccio suro/tractament fitosanitari			1.02	10		1					Suredes denses, es veu força la clariana i va creixen el resta dels anys	
1956				-1.59	-9	7							2001	Treball de camp.		33.7	Dec -0.10	0.54	-34		2						
1957				-0.75	34	8							2002	Dendometria			0.28	-46		3							
1958				-0.27	-36	9							2003				Gen -0.76	1.04	-45		4						
1959				-0.81	-15	10							2004					0.35	33		5					Suredes denses, comença pareixer algun pi carretera	
1960				-1.28	-14	11							2005				Gen -0.63, Feb -0.34, Dec -1.16	0.08	-37		6						
1961				0.53	-17	12							2006					1.26	-66		7						
1962				-0.76	3	13							2007					0.81	9		8						
1963				-1.68	-16	14							2008					0.09	43		9					Sureda densa, van apreixen pins 1 carretera	
1964				0.05	-38	15							2009					1.06	-17		10					Sureda densa, van apreixen pins 2 carretera	
1965				-0.86	-19	16							2010	7/03/2010 Gran nevada				-0.45	18		11					Sureda densa, van apreixen pins 3 carretera	
1966				-0.24	-3	17							2011					0.83	3		12					Sureda densa, van apreixen pins 4 carretera	
1967				0.00	-18	18							2012	13/02/2012 10 dies ona fred			Feb -1.38	1.11	-13		13					Pins carreteres molt 5 alts	
1968				-0.38	15	19							2013		Estassada/ac larida de millora/lleva de suro/tractament fitosanitari			-0.05	8		1						Estassada i aclarida de millora, la clariana de l'est és molt intervinguda
1969				-1.69	66	20							2014	Treball de camp. Inventari pericial		25		0.81	1		2						Es veu encara 7 esclaritzat
1970				-0.07	-9	21							2015					1.66	-37		3					8 Bosc dens	
1971				-0.91	45	22							2016					0.95	1		4					9 Bosc dens	
1972				-2.23	54	23							2017					1.55	-48		5					10 Bosc dens	
1973				-0.44	-19	24							2018					0.59	35		6					11 Bosc dens	
1974				-1.29	4	25							2019	Esclafit Viabrea 19-23/01/2020 Temporal			Gen -0.17		-21		7						Es veuen molt els 12 pins
1975				-1.25	18	26							2020	Gloria							8						Es veuen molt els 13 pins
1976				-1.26	-8	26							2021	Treball de camp.							9						La clariana va augment amb els 14 anys
1977				-1.18	118	28											53.16										
1978				-1.34	14	29																					
1979				-0.57	-24	30																					
1980				-1.13	14	31																					
1981				-0.45	7	32																					
1982				-0.72	-46	33																					
1983				0.29	-42	34																					
1984				-1.50	1	35																					
1985				-0.14	7	36																					
1986				-0.10	-28	37																					Apereixen carreteres, sureda densa. Es veu poca clariana
1987				0.46	-31	38																					
1988				0.47	52	38																					
1989				0.35	-11	38																					
1990				0.37	0	38																					
1991				-0.75	-8	38																					
1992				-0.32	49	38																					
1993				-0.65	-1	38																					Sureda densa

Figura 4-16: Fitxa resum de les dades de gestió forestal i dades addicionals al llarg del temps que caracteritzen el rodal 3

4.3 Les dades d'Observació de la Terra

Actualment l'estudi de l'Observació de la Terra es caracteritza per la gran disponibilitat de dades captades per diferents sensors i plataformes de tot tipus i especialment des de satèl·lit. Aquest ingent volum de dades comporta un immens ventall de capacitats, tant a nivell de la resposta espectral, de la resolució espacial o de la resolució temporal, i en la transformació de les dades en coneixement. A la vegada comporta uns costos en gestió de les dades, des de l'emmagatzematge fins a la computació i anàlisi cada cop més elevats.

L'ús de plataformes orbitant al voltant de la Terra per a l'Observació de la Terra té el seu origen els anys 70 amb l'inici del programa nord-americà Landsat. Actualment el programa Landsat s'ha renovat amb el darrer Landsat 9, llançat a l'espai el passat 27 de setembre de 2021, donant continuïtat a les dades sobre el planeta des de satèl·lit, sota la governança del USGS.

COPERNICUS és el programa europeu per a l'establiment d'un sistema d'Observació de la Terra, la vigilància mundial del medi ambient i la seguretat. COPERNICUS està a càrrec de la Comissió Europea (CE), en col·laboració amb l'ESA i l'Agència Europea del Medi Ambient (EEA).

L'ESA coordina el lliurament de dades de més de 30 satèl·lits. ESA i EUMESAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) són responsables de la infraestructura. EEA és responsable de les dades en els àmbits temàtics de terra i aire (de la component *in situ*). CE, en nom de la Unió Europea, és responsable de la iniciativa en general, establint els requisits i la gestió dels serveis. COPERNICUS, a més, és la contribució europea a Global Earth Observation System of Systems (GEOSS).

En el context d'aquest treball de Tesi, i atenent a la finestra temporal en la que ens movem, s'ha treballat amb dades de satèl·lit dels programes d'Observació de la Terra, Landsat i Copernicus.

4.3.1 Descàrrega i processat de dades Landsat

El rang temporal d'estudi d'aquesta Tesi es centra especialment entre l'any 1994 fins l'any 2020. Durant aquest període estan inclosos diferents programes operacionals dels satèl·lits Landsat. Tots ells amb característiques molt comunes tant a nivell de resolució espacial, espectral com temporal.

Durant la descarregà de dades del programa Landsat també es van baixar dades de dates anteriors fins arribar a les imatges disponibles de finals dels anys 70, per si era d'interès comprovar alguna dada relacionada amb l'evolució del les masses forestals objecte d'aquest estudi.

En la Taula 4-6 es recullen els períodes temporals d'obtenció de les imatges Landsat segons la seva missió i es detallen els canvis de les característiques espectrals i espacials succeïdes al llarg del temps per a les bandes espectrals d'interès en l'objecte d'aquesta Tesi. Són els canals de l'espectre visible (VIS), de l'infraroig proper (NIR) i de l'infraroig curt (SWIR). També s'indiquen les imatges que no tenen possibilitat de ser aprofitades per diferents motius.

Taula 4-6: Cronologia i principals canvis de les missions Landsat a llarg de la seva història

Període en actiu dels sensors	Missió Landsat	Observacions Bandes VIR, NIR, SWIR
Juliol 1972- Gener 1998	ERTS 1 o Landsat 1	Resolució espacial 60 m
Gener 1975- Juliol 1983	Landsat 2	Resolució espacial 60 m
Marc 1978- Setembre 1983	Landsat 3	Resolució espacial 60 m
Juliol 1982 - Desembre 1993	Landsat 4	Resolució espacial 30 m
Març 1984 – Gener 2013	Landsat 5	Resolució espacial 30 m
Octubre 1993	Landsat 6	Falla l'òrbita
Abril 1999 - Actualitat	Landsat 7	Imatges parcials degut a un error de procés en l' <i>Scan Line Corrector</i> . No entren en l'estudi
Febrer 2013 - Actualitat	Landsat 8	Resolució espacial 30 m. Petit ajust límits espectrals
Setembre 2021- Actualitat	Landsat 9	Idem. No entra en l'estudi

Pel conjunt de dades a Catalunya pel període estudiat, excloent el Landsat 7 pel seu mal funcionament, la revisita en l'adquisició d'imatges en el territori és de 16 dies.

Actualment això ja ha canviat per què el darrer Landsat 9, que com hem comentat va ser enviat a l'òrbita el 27 de setembre del 2021, és gairebé una rèplica del Landsat 8 i pren imatges intercalades al seu predecessor obtenint una revisita cada 8 dies de tot el territori (en fase de comissionat durant l'elaboració d'aquest treball de Tesi). Això implica que qualsevol estudi temporal d'Observació de la Terra, en qualsevol part del món, disposarà del doble d'imatges aprofitables, sempre que estiguin lliure de núvols.

Actualment les imatges Landsat s'ofereixen gratuïtament via un enregistrament previ com usuari identificat a partir de diferents portals a Internet. Un dels més usats és el Geoportal Earth Explorer (EarthExplorer, n.d.) creat per l'USGS. Es poden trobar moltes dades d'Observació de la Terra i en concret les dades del programa Landsat estan totalment actualitzades i mantingudes en diferents nivells de procés. El flux de descàrrega pot ser la selecció d'una imatge individual que baixa de forma immediata o un conjunt de imatges que es poden baixar per diferents eines més automàtiques i que han anat evolucionant al llarg del temps.

Totes les descàrregues portades a terme de les missions Landsat són per a les imatges que contenen el perímetre del massís del Montseny. Aquestes imatges des dels Landsat 4 són etiquetades amb el *Path 197* i l'òrbita 031 de la nomenclatura Landsat.

El geoportal posa a disposició diferents grups d'imatges Landsat segons el seu nivell de procés i segons la metodologia emprada. Podem parlar de dos grans conjunts de les imatges Landsat, el nivell 1 que contenen correccions geomètriques i correccions radiomètriques i el nivell 2 on s'incorporen les correccions atmosfèriques. Per l'estudi que ens ocupa necessitem aquelles imatges on les mesures del píxel sigui el més proper possible a les unitats físiques de reflectància, per evitar en la mesura del possible els efectes atmosfèrics que puguin pertorbar el senyal. En aquest sentit, les imatges del nivell 1 no ens interessen. Per tant, la descàrrega sempre ha estat del nivell 2, sempre que l'USGS les tingues disponibles. A mitjans de l'any 2020 l'USGS va refer totes les seves correccions radiomètriques tant del nivell 1 com del nivell 2 i va obrir una nova col·lecció d'imatges anomenada *Landsat Collection 2* on es trobaven de nou els dos nivells de procés. Això va comportar que s'haguessin de tornar a baixar tot el conjunt de dades Landsat de la col·lecció 2 nivell 2 per poder millorar el resultat i així garantir la integritat i uniformitat de procés de la col·lecció de treball.

Les descàrregues es van iniciar a partir de les dates de l'any 2020 i es va continuar baixant les imatges més antigues. Teòricament haurien d'haver dues imatges Landsat de la zona de treball cada mes. En la realitat no és així, i prèviament s'ha realitzat una revisió ràpida de les imatges de mostra o *quicklooks* del geoportal per descartar la baixada de les imatges amb presència de núvols o boirines que tapin o afectin greument la visualització de l'àrea d'estudi i per tant la seva radiometria i utilització.

Les imatges del satèl·lit Landsat 8 han estat seleccionades des de l'inici d'aquesta missió l'any 2013 fins l'any 2020, amb un total de 112 imatges. Aquestes imatges no presentaven grans efectes atmosfèrics en una primera interpretació dels *quicklooks*. Malgrat tot, durant l'estudi, ja es comprovarà que la localització de petites boirines o núvols poden descartar puntualment imatges d'un rodal d'estudi. Com es pot observar en la Figura 4-17 els mesos d'estiu, en termes generals, hi ha més imatges disponibles. La resta de mesos són fortament dependents de les condicions meteorològiques. Tot i així, cal destacar que els mesos de primavera quan la vegetació es troba en ple creixement es quan, malauradament, es disposa de menys imatges plenament útils.

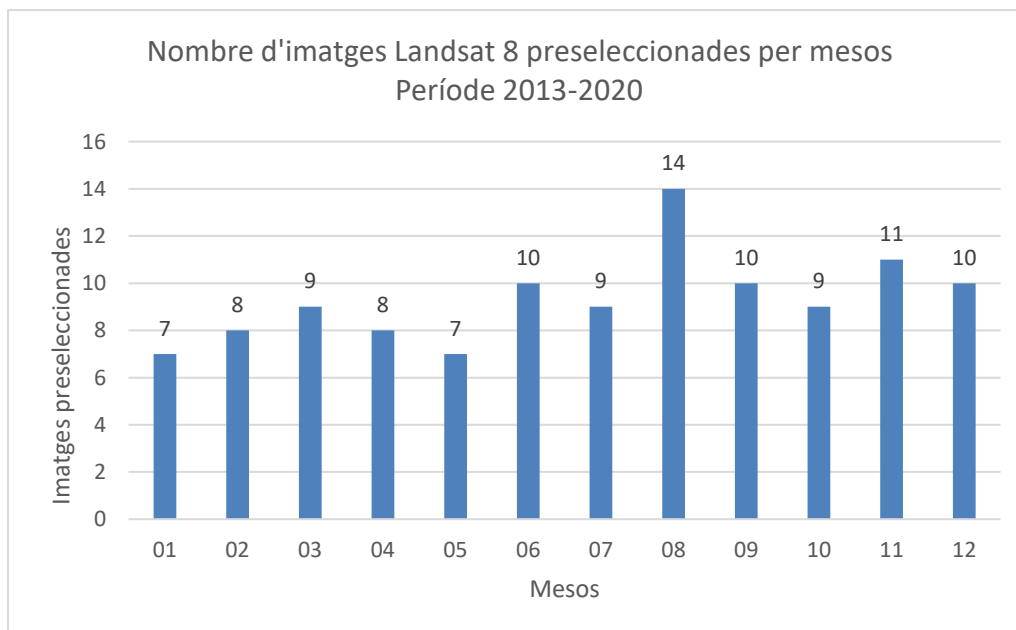


Figura 4-17: Nombre d'imatges Landsat 8 per mesos durant entre l'any 2013 i 2020 per la zona d'estudi

En la Taula 4-7 es recull la distribució de les imatges mensuals i per anys on es perceben clarament els mesos on manquen imatges lliures de núvols que pot entorpir l'estudi evolutiu de la vegetació. Els anys més perjudicats per la manca d'imatges a la primavera i part de l'estiu són l'any 2015 i 2019.

Taula 4-7: Distribució del nombre d'imatges Landsat 8 per mesos i anys

Landsat 8	Mesos												Total general	
	Anys	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11		12
2013			1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	16	
2014	1	1	2		1		2	2	2	2	1	1	15	
2015		1	1	1					2	1	1	1	2	10
2016	1	2	2	1	1	1	1	1				2		12
2017	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	17
2018	1	2		1		1	2	2	2	1	1	1	14	
2019	2	1		1		2		2	1	1	2	1	13	
2020	1		1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	15	
Total general	7	8	9	8	7	10	9	14	10	9	11	10	112	

El darrer gran grup d'imatges que s'han descarregat són les que pertanyen als satèl·lits Landsat 4 i Landsat 5 entre els anys 1984 i 2011, totes elles de la col·lecció 2 del nivell 2 del Landsat processat per l'USGS, amb un total de 353 imatges. La *plataforma Earth Explorer* no té les imatges del 2012 per Landsat 5, ni en la col·lecció 1 ni en la col·lecció 2, per tant durant aquests anys no es disposen d'imatges d'aquesta plataforma Landsat.

En la Figura 4-18 es mostra la distribució de les imatges per mesos per tot el conjunt d'imatges. En aquest cas entre els mesos de maig a setembre es quan es disposa de més imatges, coincidint amb el període on millor s'analitzen els creixements i canvis vegetatius.

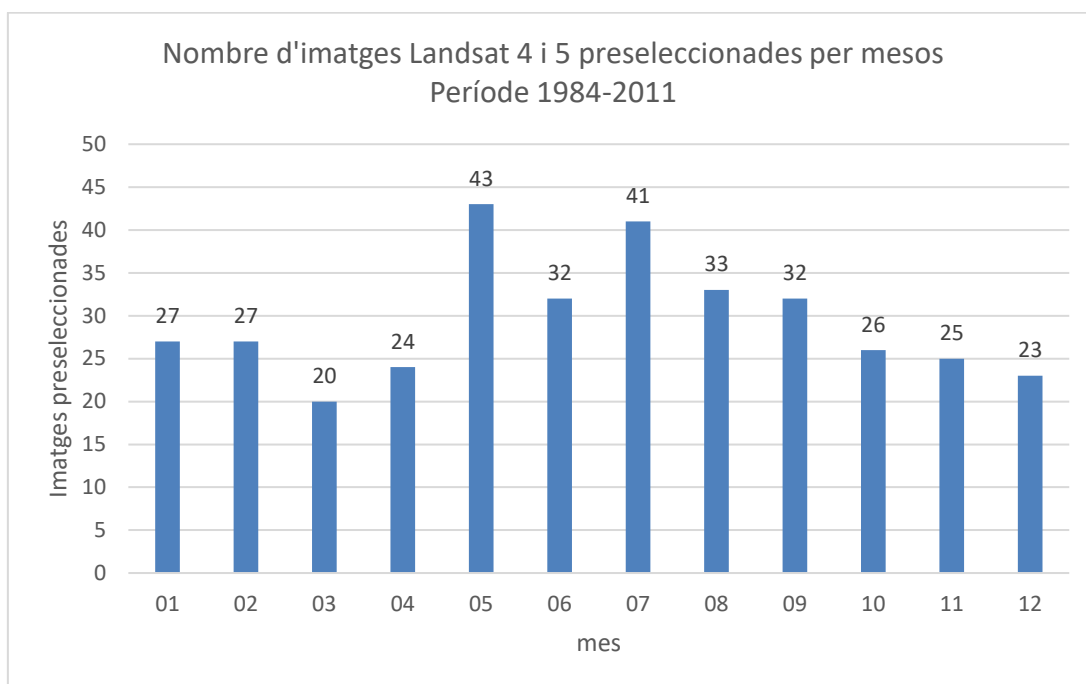


Figura 4-18: Nombre d'imatges Landsat 4 i 5 per mesos durant entre els anys 1984 i 2011 per la zona d'estudi

En qualsevol cas, en funció de la meteorologia de cada any s'obtenen un nombre diferent d'imatges, en molts casos les distribucions temporals són força diferents durant els mesos, per tant, la comparació entre les mateixes dades entre anys pot ser difícil. En la

Taula 4-8 s'observa quins anys tenen menys imatges per mesos. També destacar que hi ha dos anys amb moltes imatges com l'any 1988 i 1994. L'any 1994 serà interessant d'estudiar per les seves condicions extremes de temperatures i baixes pluges a la primavera i per la incidència en la vegetació de l'incendi forestal de Gualba i Riells en una part dels rodals estudiats.

Aquesta preselecció d'imatges Landsat ha estat visual sobre els *quicklooks* que presenta *Earth Explorer*. Durant l'explotació d'aquestes imatges per l'estudi dels rodals caldrà

comptabilitzar amb quantes imatges ens quedem per cada any i si el nombre és suficientment significatiu per fer l'estudi evolutiu.

Taula 4-8: Distribució del nombre d'imatges Landsat 4 i 5 per mesos i anys

Landsat 4 i 5 anys	Mesos												Total general
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
1984				1			2	2	1		1	2	9
1985				2			1	1		1	2		7
1986	1	1			2	2	2	1	2	1		1	13
1987	2		1		1	2	1	1	1	1	1		11
1988	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	19
1989	2	1		2	1	1	2	2	1		1		13
1990	1	2	1	1	2		2	1	1		2	2	15
1991		1	1	2	3	1	2	1	2	2	1		16
1992	1			2	3	1	4	2	2		1	1	17
1993	2	1	1		2	2	2	2	1	1	1	1	16
1994	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	20
1995	1		2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	14
1996		1			2	2	2	2	2	2			13
1997	2	1	2		2	2	2	1	2	1	1		16
1998	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	15
1999	2	2		1	2	1	1	1	1	1	2	2	16
2000	2	1	1		1	1	2		1		1		10
2001	1	2	2			2	1	2		2	1	2	15
2002	1	1			1	1							4
2003							2	2	1	1			6
2004	1	1	1		2	1	2		1			1	10
2005	2	1		1	2	1	1	1	1	1			11
2006		1		2	2		1	1	2	2	2	2	15
2007	2	2	1	1	2	1	1		1				11
2008					2	1	1	2	1				7
2009		1		1	1	1	1	2	1	2	1	1	12
2010		1		1	1	1				1	2	2	9
2011	1	1	2	2	2	1		1	1	2			13
Total general	27	27	20	24	43	32	41	33	32	26	25	23	353

4.3.2 Descàrrega i processat de dades Sentinel 2

Les imatges del satèl·lit Sentinel-2 són de lliure accés i descàrrega previ registre com a usuari. Les primeres imatges del Sentinel-2A daten de mitjans de l'any 2015 i la col·lecció d'imatges es duplica amb la incorporació d'un segon satèl·lit idèntic, el Sentinel-2B l'any 2017 obtenint així imatges cada 5 dies de la mateixa zona. Les característiques principals d'aquests satèl·lits es que enregistren imatges multiespectrals en bandes situades en el VIS i NIR de les quals sis bandes es troben situades gairebé en les mateixes zones espectrals que les bandes Landsat.

Les imatges Sentinel-2 també passen per diferents nivells de procés obtenint dos productes bàsics. El primer producte són les imatges Level-1C on es realitzen les correccions geomètriques i les correccions radiomètriques a nivell de reflectàncies per sobre del component atmosfèric (TOA. Top -Of- Atmosphere). El segon producte són les imatges L2A que tenen la mateixa correcció geomètrica però on s'ha sostret el component atmosfèric (BOA. Botton-Of-Atmosphere) en les correccions radiomètriques obtenint unes millors reflectàncies.

Per al treball que ens ocupa el nivell L2A és el més adequat. Per aquest motiu s'han descarregat les imatges a aquest nivell sempre que ha estat possible. De fet, aquest nivell de procés no s'implanta fins l'any 2017. Per aquest motiu les imatges del 2015 i 2016 s'han baixat al nivell L1C, per a la seva posterior correcció atmosfèrica en el marc d'aquest treball si fos necessari.

Les imatges es poden baixar per diferents geoportals o entorns SIGs preparats per descarregar imatges Sentinel-2. En aquest cas les imatges s'han baixat del propi geoportal de l'ESA anomenat *Copernicus Open Access Hub* (Copernicus Open Access Hub, n.d.) que permet baixar les imatges en els dos nivells de procés. També es poden realitzar comandes en lots per ser baixades conjuntament i introduir les coordenades del territori que es desitja. Això ha permès descarregar només l'àrea del massís del Montseny i evitar acumular grans espais al disc d'informació.

Durant la baixada de les imatges també s'ha fet una selecció prèvia supervisant els *quicklooks* de les imatges que hi ha disponibles en el Geoportal. S'han descartat totes aquelles que tenien una cobertura alta de núvols o boirines. Després de la selecció s'han

descarregat 8 imatges de l'any 2015 i 32 imatges del 2016 del Sentinel-2A a nivell L1C mentre que partir del 2017 ja totes les imatges són descarregades al nivell L2A. En la Taula 4-9 es troba el nombre d'imatges baixades per cada Sentinel 2 i l'any. Fins l'any 2018 no es disposa dels dos conjunts del Sentinel-2 A i B. Aquests tres darrers anys (2018-2019-2020) en resulten així especialment interessants per comprovar si es poden veure canvis fenològics interanuals de cada massa forestal dels rodals gràcies al gran nombre de revisites sobre el territori. En teoria cada mes podria arribar a tenir 6 imatges, però això succeeix molt poques vegades ja que la cobertura de núvols pot ser molt freqüent.

Taula 4-9: Nombre d'imatges Sentinel-2A i B per anys disponibles per a la zona d'estudi sense núvols

Imatges per Sensors	Imatges per anys
S2A	74
2017	11
2018	14
2019	27
2020	22
S2B	56
2017	1
2018	15
2019	19
2020	21
Total general	130

Les imatges dels dos sensors bessons del Sentinel-2A i 2B distribuïdes per mesos evidencien que l'any 2017 no tenim imatges suficients per obtenir tot el cicle anual.

Taula 4-10: Distribució del nombre d'imatges Sentinel-2A i B per mesos i anys

Sentinel 2A i 2B	Mesos
-------------------------	--------------

Anys													Total
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	general
2017					1	3	2	1	2		1	2	12
2018	3		3	2	1	2	3	4	3	3	1	4	29
2019	2	5	5	2	2	3	4	7	3	4	5	4	46
2020	4	4	1	2	4	3	6	6	4	4	3	2	43
Total general	9	9	9	6	8	11	15	18	12	11	10	12	130

En la Taula 4-10 es pot observar per exemple que l'any 2018 amb els dos satèl·lits operatius hi ha molt poques imatges per cada mes. Caldrà veure si en l'anàlisi de sèries temporals per anys es podran aprofitar aquells anys on el cicle d'imatges no és prou dens.

4.3.3 Anàlisi altres dades satèl·lit: radar, hiperespectrals i Lidar

En els darrers anys l'oferta de dades d'Observació de la Terra per satèl·lit és molt elevada i tot i que pels objectius del treball les imatges Sentinel-2A/B i les imatges Landsat són les més adequades s'ha volgut fer una revisió d'altres dades prou interessants i veure si podrien ser aprofitades per tal d'enriquir aquesta investigació.

4.3.3.1 Dades radar

El programa Copernicus es va iniciar en el seu segment espai posant en òrbita el Sentinel-1A l'abril de l'any 2014 i dos anys més tard el Sentinel-1B. Aquests satèl·lits embarquen sensors actius de Radars de l'Obertura Sintètica (SARs). Els seus sensors són capaços de recollir imatges de nit en condicions meteorològiques adverses com núvols i pluja, davant a aquests fenòmens són transparents a la finestra de freqüències en que treballen les microones. Aquest fet suposa un avantatge respecte els sensors òptics del programa Copernicus que en zones com el Montseny on molts dies de l'any hi ha cobertura de núvols i boires (com hem vist en els apartats anteriors) podrien aportar valuosa informació. Entre les característiques principals del Sentinel-1 es destaca que es pot arribar a obtenir imatges de la zona cada sis dies amb els dos satèl·lits. El Sentinel-1 treballa en la banda C amb una longitud d'ona d'aproximadament 6 centímetres, suficient per penetrar en les cobertes vegetals i a més

és sensible a la constant dielèctrica dels objectes (útil per l'estudi de la humitat). Totes aquestes característiques són molt atractives per reconèixer canvis en les cobertes terrestres. Cal afegir que aquestes imatges també són *open data* i la ESA també ofereix el programari SNAP, una caixa d'eines molt completa per processar les imatges.

Tot i els possibles avantatges d'aquesta tecnologia, quan es focalitza la seva resposta sobre els entorns forestals i la seva possible aportació als objectius d'aquest treball es consideren molt limitats, atenent bàsicament a la longitud d'ona o banda de l'espectre en que Sentinel-1 treballa. La resposta al senyal radar de Sentinel-1 (banda C) del bosc en resulta essencialment per dispersió difusa on es barreja tant la dispersió especular com la del doble rebot. I tot i que el senyals es recullen segons la seva polarització en quatre jocs de polaritzacions, segons la transmissió i recepció, no acaba de ser suficient per estudiar canvis d'evolució forestal en uns rodals de superfícies de poques hectàrees. També cal afegir que aquests rodals es troben situats en zones muntanyoses on els efectes típics de distorsió geomètrica del SAR són més freqüents com és la inversió del relleu o *layover*, el desplaçament de les estructures o *foreshortening* i ombres radar.

En la Figura 4-19 es recull una subescena d'una imatge Sentinel-1 (producte IW procés GRD) sobre l'àrea d'estudi. Es pot observar que no hi ha cap tipus de correcció geomètrica i per tant no està referenciada al territori correctament. Amb aquest versió crua de la imatge s'observen alguns dels efectes mencionats prèviament com el *layover* i el *foreshortening*. També manca la correcció radiomètrica com el calibratge i reducció del soroll del senyal.

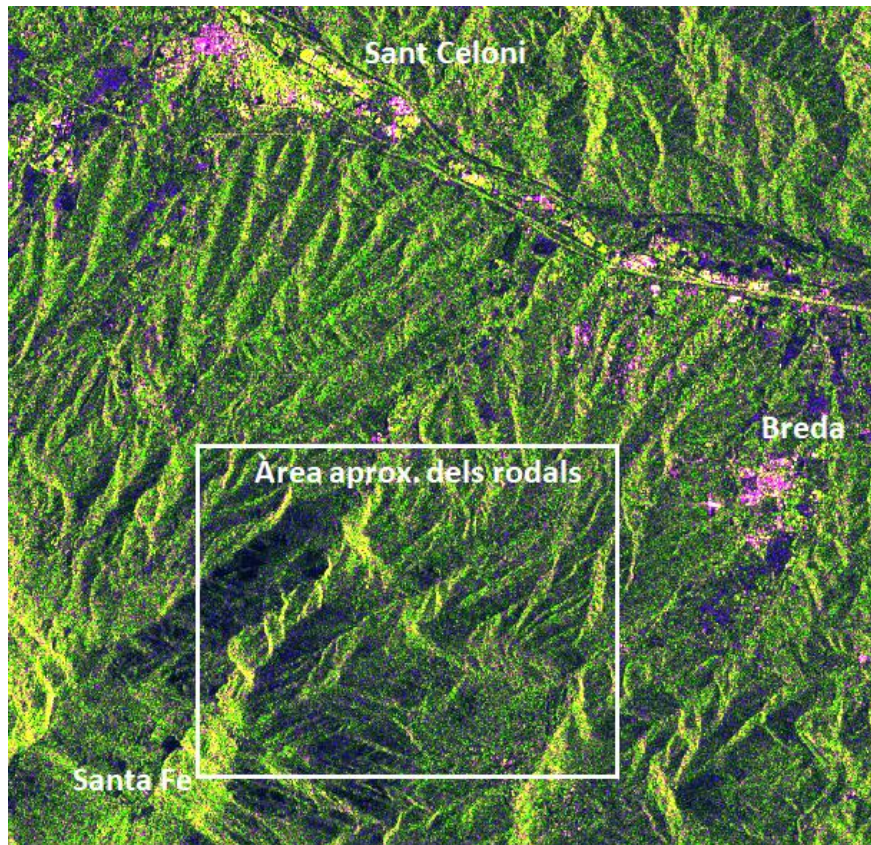


Figura 4-19: Imatge Sentinel-1A del 3 de març del 2017. Composició RGB amb polaritzacions Intensity_VV, Intensity_VH i Intensity_VV/Intensity_VH sense correcció geomètrica

Alguns treballs de recerca molt recents analitzen amb imatges Sentinel-1 els boscos de caducifolis i ho creuen en sèries temporals comparades amb l'NDVI del Sentinel-2. Després d'un calibratge dels resultats a partir d'un treball de camp molt exhaustiu, exposen una línia de treball a seguir en l'anàlisi dels canvis més subtils de la fenologia (Soudani et al., 2021). No obstant, cal remarcar que els boscos caducifolis són els que es potencialment es presenten en millors condicions per aquesta anàlisi de canvis a partir del creuament de dades radar i òptiques per la pèrdua de les fulles a la tardor, el que representa un canvi tant estructural (radar) com radiomètric (òptic).

Un altre treball molt interessant sobre caracterització de la fenologia forestal i que caldrà veure els seus resultats és l'estudi comparatiu entre les dades radar de Sentinel-1 i el satèl·lit espanyol PAZ/TDX que treballa en la banda X, amb encara menys penetració en la vegetació que la banda C, però amb una resolució espacial 5 x 5 metres. En aquest sentit destacar el treball presentat en el recent Workshop organitzat dintre de les

activitats del V Congreso Ibérico de Ecología del Paisaje (CopTRAIN | COPERNICUS FOR LANDSCAPE MONITORING, n.d.) pel grup de treball IuFor-EiFAB i UVa. En concret es treballa en dues àrees comparades entre Espanya i Canadà i algunes de les espècies arbòries de seguiment fenològic són el *Quercus petrea*, *Fagus sylvatica*, *Quercus ilex*, *Pinus sylvestris* entre d'altres. Caldrà esperar els resultats.

En un futur proper, resultarà de gran interès la propera missió de l'ESA per l'estudi de la biomassa on es vol enviar un nou satèl·lit RADAR d'apertura sintètica amb banda P on la longitud d'ona és molt més llarga i pot ajudar a detectar l'estructura de la vegetació. Així doncs de moment no es disposa de més informació radar gratuïta amb suficient resolució espacial per caracteritzar la vegetació dintre dels nostres objectius.

4.3.3.2 Altres dades multiespectrals Copernicus: Sentinel 3

El febrer de l'any 2016 es va iniciar una nova missió Copernicus amb el llançament i situació en òrbita del satèl·lit Sentinel-3A i més tard, l'any 2018 el Sentinel-3B. Aquest satèl·lit porta embarcat un conjunt de sensors per estudiar la Terra i els oceans de forma global. En són d'especial interès els dos sensors passius l'OLCI amb 21 bandes entre el VIS i SWIR i el sensor SLRTR amb 9 bandes des dels 550 nm fins els 1200 nm. El primer té una resolució de 300 m i el segon de 500 a 1000 m. Els dos tipus d'imatges es combinen en un producte derivat anomenat *Synergy Product* amb les 30 bandes, però en tot cas de pobre utilitat operacional pel nostre estudi per la baixa resolució espacial i temporal.

En la Figura 4-20, a l'esquerra, es mostra un *quicklook* global de la imatge Sentinel-3A del dia 23 d'abril del 2021 en el producte derivat *Synergy* amb una resolució espacial de 500 x500 metres. Mentre que l'esquerra es mostra on es situaria l'àrea dels rodals dins de la muntanya del Montseny i entorns. Cal pensar que alguns rodals la seva superfície potser no en seria recoberta ni per un píxel sencer.

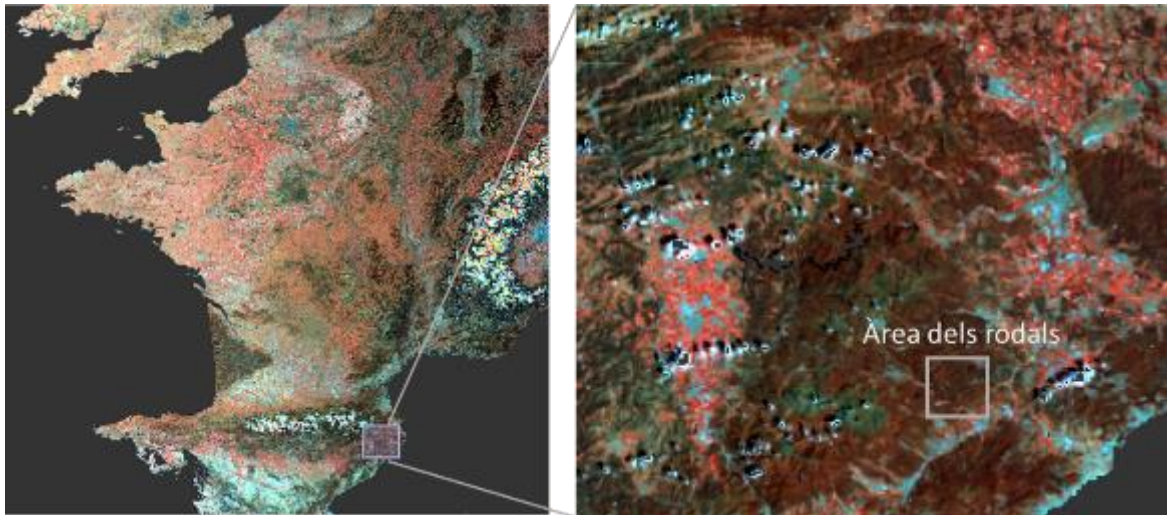


Figura 4-20: A l'esquerra mostra reduïda de la Sentinel 3A Synergy Product del dia 23 d'abril del 2021, a la dreta una subescena de l'entorn més immediat a l'àrea dels rodals a estudiar

En la figura anterior, hem creat una composició de fals color de les bandes 18,11 i 6 del sensor OLCI que corresponen als centres espectrals 885 nm, 708.75 nm, 560 nm respectivament, cada un amb una amplada de banda de 10 nm, tots tres molt significatius per fer un seguiment de la vegetació. Tot i així, la resolució espacial és massa grollera pels objectius d'aquesta Tesi.

4.3.3.3 Dades hiperespectrals de satèl·lit

Durant els anys 90 del segle passat, es van construir sensors amb més capacitat de recollir dades en l'espectre visible i infraroig. Eren sensors capaços de recollir aquesta part de l'espectre de forma contínua amb bandes adjacents i molt fines. N'és un bon exemple el sensor aerotransportat CASI construït per ITRES (Canada) i que durant molts anys va ser la font primària de les aplicacions hiperespectrals a l'ICGC (Baulies, 1994). Aquest sensor podia arribar a captar 288 bandes de forma contínua des de els 400 nm fins els 950 nm d'espectre. Això implica obtenir signatures espectrals molt detallades de les cobertes del sòl i, per tant, de la vegetació. Paral·lelament i en els anys següents van aparèixer molts altres sensor hiperespectrals aeroportats. Es poden destacar alguns sensors hiperespectrals actualment en el mercat i/o operacionals aeroportats com ROSIS, Hyperspectral Digital Imagery Collection Experiment (HYDICE), HYMAP,

CASI 1500, AISA (Perez et al., 2013), o el Thermal Hyperspectral Imaging Sensor (TASI) (Pipia et al., 2010) aquests dos darrers operats actualment per ICGC entre molts d'altres. Però, sense dubte un dels més rellevants ha estat el sensor hiperespectral aeroportat AVIRIS (Airbone Visible/Infrared Imaging Spectrometer) que opera entre els 400 als 2500 nm amb 224 bandes i que ha estat la prova de concepte de la NASA per futurs sensor hiperespectrals de satèl·lit fent vols aeroportats en moltes parts del món.

Les imatges hiperespectrals des de satèl·lit aportaran un millora substancial en la captació de bandes espectrals de forma massiva i repetitiva. Hem de pensar que la signatura espectral de la vegetació té canvis substancials en files espectrals que de vegades no estan representades en les imatge multiespectrals o en queden integrades dins el seu ample de banda. Per tant, obtenir un coneixement més fi de l'espectre visible i infraroig ha d'aportar un clar avantatge en els estudis temporals del comportament fenològic de la vegetació.

L'any 2000 la NASA va posar en òrbita el sensor hiperespectral EO-1 Hyperion, operatiu fins l'any 2017. Aquest sensor recollia informació des dels 357 nm fins els 2576 nm de l'espectre electromagnètic amb una resolució espectral de 30 metres. Moltes de les imatges captades han estat publicades i altres, sota demanda, han estat lliurades. El postprocés d'imatge no va avançar molt i els propis usuaris havien de fer les correccions atmosfèriques i altres millores. Però aquest conjunt de dades ha estat el preludi per motivar altres agències espacials en la necessitat de fer missions més estables de recull de dades hiperespectrals.

En els darrers anys, diferents agències dedicades a l'Observació de la Terra tenen missions obertes per desenvolupar sensors hiperespectrals embarcats en satèl·lit. Es podrien destacar el sensor ENMAP (DLR-GFZ, Alemanya), el sensor Spaceborne Hyperspectral Applicative Land and Ocean Mission (SHALOM, Itàlia-Israel), el sensor HYPperspectral-X IMagery (HypXIM, CNES, França) o el sensor CHIME (ESA). Tots ells encara no estan en òrbita, però les dades hiperespectrals són un producte que s'acosta amb força per a la comunitat científica internacional. Dues missions estan més avançades i l'any 2019 van posar en òrbita sensors hiperespectrals i han realitzat processos productius sobre les dades. Són els sensors Hyperspectral Imager Suite

(HISUI, Japó) embarcat a l'Estació Espacial Internacional (ISS) i sensor PRISMA de l'ASI.

La missió PRISMA combina un sensor hiperespectral amb una càmera pancromàtica de mitja resolució. En el projecte es considera que un dels principals camps que pot beneficiar les seves dades és l'anàlisi dels boscos en temes com les perturbacions forestals, els incendis forestals, les classificacions forestals i l'anàlisi de la biomassa (PRISMA: Small Innovative Earth Observation Mission, n.d.). En la Taula 4-11 es recullen les principals característiques dels instruments de captura d'imatges. Cal destacar les 247 bandes espectrals entre els 400 i 2505 nm i una resolució espectral de 30 metres.

Taula 4-11: Característiques bàsiques dels instruments de la missió PRISMA, sensor i càmera

Parameter	VNIR channel	SWIR channel	Pan channel
Spectral range	400-1010 nm	920-2505 nm	400-700 nm
Spectral resolution (FWHM)	≤ 12 nm	≤ 12 nm	-
Spectral bands	66	171	1
SNR (Signal-to-Noise Ratio)	200 in the range 0.4-1.0 μm 600 @ 0.65 μm	200 in the range 1.0-1.75 μm > 400 @ 1.55 μm 100 in the range 1.95-2.35 μm > 200 @ 2.1 μm	240
MTF (Modulation Transfer Function)	> 0.8 @ Nyquist frequency	> 0.7 @ Nyquist frequency	> 0.2 @ Nyquist frequency
Swath width	30 km (FOV = 2.45°)		
Spatial resolution	30 m		5 m
Spatial detector pixels		1000 x 256 with 30 μm pitch	6000

El nivell de processat és molt alt i inclou correccions radiomètriques del sensor, correccions geomètriques i correccions atmosfèriques. A més, sota demanda sembla que es poden obtenir algunes adquisicions d'imatge. L'any 2020, en el marc d'aquesta Tesi ens vàrem adreçar a l'ASI per demanar una captació d'imatge en l'àrea d'estudi del Montseny però l'agència no va considerar prioritària aquesta captura i de moment no s'han pogut obtenir imatges hiperespectrals de la zona, que de ben segur haurien aportat informació espectral addicional a l'estudi de gran interès.

4.3.3.4 Dades Lidar de satèl·lit

Les dades obtingudes d'un instrument Light Detection and Ranging (LiDAR) es basen essencialment amb l'alçada dels objectes sobre la Terra. Segons els nombre o densitat de punts i discriminació de retorns del pols LiDAR, també pot estudiar l'estructura de l'objecte, en el cas que ens ocupa la vegetació, els matolls, el sòl nu, tot depèn de la resolució espacial i de la precisió del làser. Diferents sistemes LiDAR s'embarquen habitualment en avions per recollir les altures de la Terra i els seus objectes i s'obtenen diferents productes com models digitals del terreny (DTM), models digitals de superfície (DSM), models digitals d'alçada (CHM), dades biofísiques d'estructura de la vegetació, models 3D, etc. Solen ser dades i cartografia puntual que esporàdicament es pot repetir segons els recursos o els objectius del projecte.

A nivell de plataformes satèl·lit és destacable la primera missió de LiDAR d'alta resolució en òrbita anomenada Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) liderada per la Universitat de Maryland (USA) i la NASA. El sensor LiDAR es troba embarcat en l'ISS i permet obtenir l'estructura en 3D de la superfície terrestre a partir de l'energia reflectida del seu senyal làser. Es prenen dades operacionals des del març del 2019 arreu del món i són descarregables prèvia identificació com usuari.

El GEDI mesura la distribució vertical de la vegetació mitjançant la energia làser reflectida del material vegetal com troncs, branques i fulles obtenint diferents tipus d'informació de l'estructura de la vegetació com la superfície topogràfica, l'alçada de les capçades, l'estructura vertical de la vegetació en diferents nivells, entre les dades més rellevants.

Les dades GEDI tenen molts nivells de procés fins obtenir també productes derivats. Per l'interès d'aquest estudi les dades tant a nivell L2A que proporciona l'altura del sòl, l'alçada total de les capçades i l'altura relativa dels objectes, altures intermitges per percentils i el nivell L2B que calcula algunes mètriques com la fracció cabuda coberta o l'índex de l'àrea foliar, entre d'altres. En la Figura 4-21 es mostra un esquema del senyal recollit en les observacions GEDI segons la font original de la missió GEDI. Es pot observar un volum de dades important que poden descriure molt bé l'estructura de la vegetació dintre dels 25 metres de perímetre de la petjada (*footprint*) GEDI.

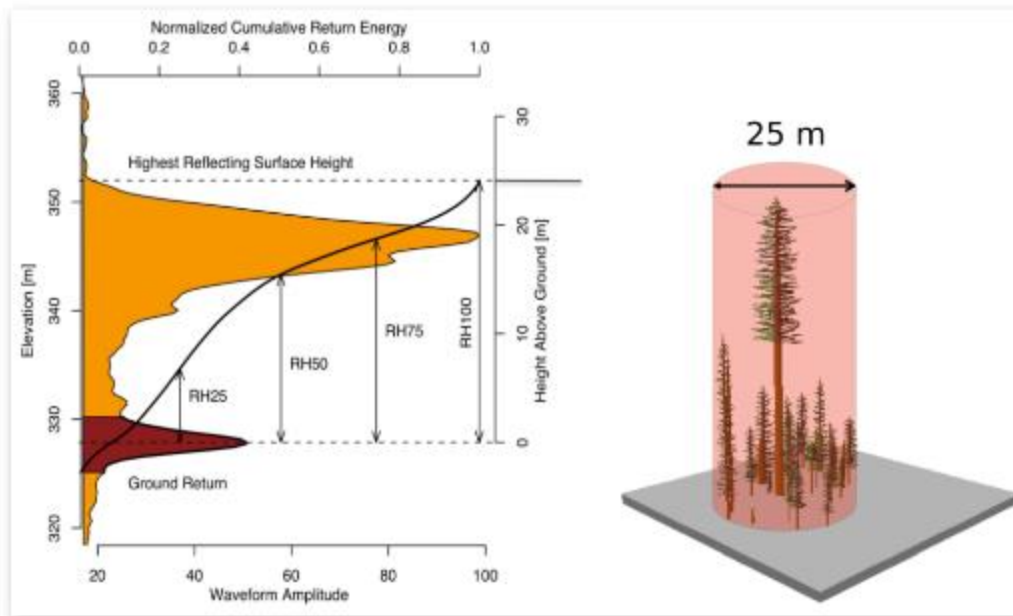


Figura 4-21: Descripció de la mesura de la petjada de 25 metres del lidar GEDI (Products - GEDI, n.d.)

Inicialment es podria pensar que aquestes dades esdevindrien un bon complement a l'estudi radiomètric de la vegetació en el marc del treball de Tesi, però la cobertura no és completa. Les dades es recullen en observacions circulars de 25 metres de perímetre de forma molt continuada però la distància entre traces de centenars de metres. Això vol dir que a mida que el GEDI va donant voltes a la Terra va densificant les observacions. Per tant, tot el què es troba en una zona no té la mateixa data, sinó que segons els traces pot variar en els mesos o els anys i molt territori encara no ha estat enregistrat. Cal afegir que la mesura pot tenir uns errors posicionals entre un 15 i 20 metres (desviació estàndard).

Un dels primers treballs que ha relacionat l'alçada dels arbres segons dades GEDI i les cobertes forestals segons les imatges Landsat considera que es una bona eina a escales petites (30 metres de píxel) per realitzar un seguiment temporal (*time series*) de la cobertura forestal mundial (Potapov et al., 2021). Però són escales massa petites pel nostre objectiu.

4.3.4 Anàlisi dades aeroportades

Les dades de camp es poden complementar amb altres dades d'Observació de la Terra a una escala major que les dades considerades amb els satèl·lits objecte d'estudi sempre que sigui possible. En aquest sentit l'ICGC capta des de les seves plataformes i sensors una gran quantitat de dades disponibles útils per aquesta recerca. Les principals fonts usades han estat tota la sèrie temporal d'ortofotos existents, des del 1946 fins l'actualitat així com el model digital del terreny.

4.3.4.1 Ortofotos de Catalunya

A llarg dels anys l'ICGC ha realitzat vols fotogramètrics a tot el territori català. Les cobertures han augmentat a mida que els mitjans tècnics han anat evolucionant. Dels vols fotogramètrics se'n deriven les ortofotos on el fotograma ha estat corregit radiomètric i geomètricament obtenint una imatge àrea georeferenciada del territori. Aquestes ortofotos obtingudes al llarg del temps són un testimoni aeri de la zona d'estudi a escales molt superiors a les imatges de satèl·lit Sentinel-2 o Landsat.

Per diferents mitjans telemàtics com els servidors WMS, descàrrega directa d'internet o el *plugin* de l'ICGC es poden trobar els dos primers vols americans del 1945 i 1956 cedits per l'Estat Espanyol i després diferents vols de l'ICGC des dels anys 70 fins l'actualitat. En la zona d'estudi alguns vols fotogramètrics no hi eren o les imatges no són vàlides, però malgrat tot, la col·lecció és molt amplia i en molts casos dona informació visual de l'evolució dels boscos i en alguns casos es poden observar les intervencions forestals d'un cert impacte al territori com estassades de matoll, aclarides de boscos o tallades d'arbres. En la Figura 4-22 es pot veure l'evolució del rodal 1 en les millors ortofotos de la col·lecció ICGC on es poden visualitzar alguns canvis o simplement demostrar un creixement o continuïtat d'una massa forestal al llarg de 75 anys.

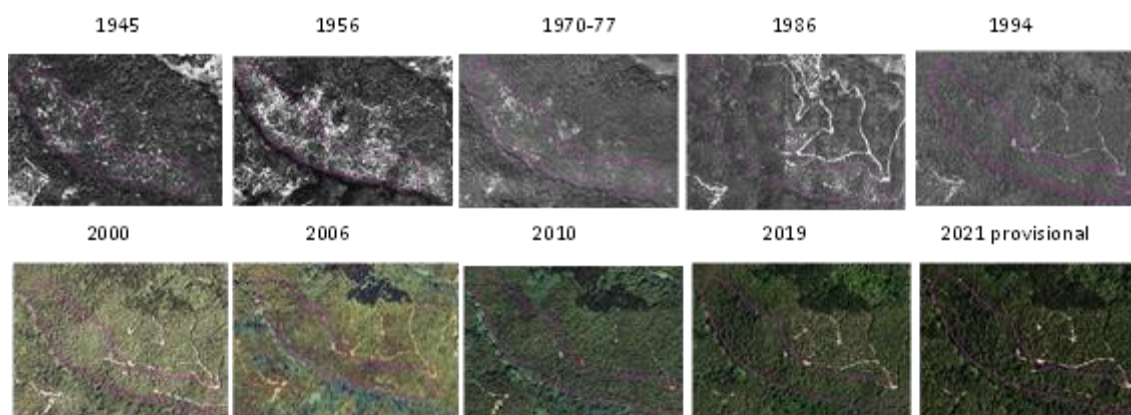


Figura 4-22: Sèrie temporal d'ortofotos ICGC per al rodal 1

Els processos de confecció de l'ortofotomapa a partir dels fotogrames també ha anat millorant molt al llarg del temps, inicialment les ortofotos eren en blanc i negre però actualment ja es realitzen en color i infraroig color, millorant substancialment la definició dels objectes al territori. Les ortofotos actuals tenen una escala de detall molt alta amb píxels de 25 cm. Tot i així la cobertura fotogràfica no supera una versió per any i les dates de vol poden variar substancialment d'un any a un altre, per tant, els estudis en sèries temporals exclusivament amb aquesta informació no són prou factibles.

En qualsevol cas ha estat una font d'informació molt rellevant per complementar les dades de camp i ajudar a la validació dels resultats.

N'és un bon exemple el rodal 1 on es pot observar que durant els anys 50 de la passada centúria el bosc d'alzinar estava fortament explotat i es va densificar amb la crecudada i abandonament del bosc fins aproximadament l'any 1986 on sembla que s'ha tornat a intervenir el bosc. Després segueix el creixement i densificació de l'alzinar fins l'actualitat. En aquest rodal ja es va fer el primer inventari forestal l'any 2001 i confirma la densificació de la massa forestal. Caldrà veure si l'estudi de les imatges de satèl·lit confirmen aquesta evolució del territori.

4.3.4.2 Model digital del terreny

L'àrea d'estudi és una zona muntanyosa amb moltes solanes, obagues, sots i rieres d'aigua que explica el relleu tant variable i els canvis de gradient altitudinal en tant poc terreny. Conèixer l'altura del terreny d'una massa forestal és rellevant per molts motius. Segurament un dels principals és que pot arribar a determinar la presència de les

especies arbòries. Per exemple, en el estatge de l'alzinar muntanyenc on es troben bona part dels rodals dominats per l'alzina (*Quercus ilex*) es situa entre els 400 i 700 metres en la part baixa i entre els 1.000 i 1.200 en la part alta. En la part més alta d'aquest estatge ens trobaríem les rouredes i fagedes entre els 1.000 i 1.500 m d'altura (Bolòs i Capdevila & Vigo i Bonada, 1984). La presència d'algunes espècies arbòries dominants en un estatge es poden trobar ocasionalment en les zones de transició als altres estatges. Per exemple, s'ha trobat algun faig (*Fagus sylvatica*) esporàdic per sota del límit altitudinal teòric, en les fondalades d'alguns alzinars.

El Model Digital del Terreny (DTM) serveix per conèixer concretament aquestes altures si té una suficient resolució espacial. Per aquest treball s'ha usat el DTM que l'ICGC posa a disposició pels usuaris. Aquest DTM té una resolució espacial de 5x5 metres i s'ha pogut consultar només per l'àrea d'interès (Figura 4-23).

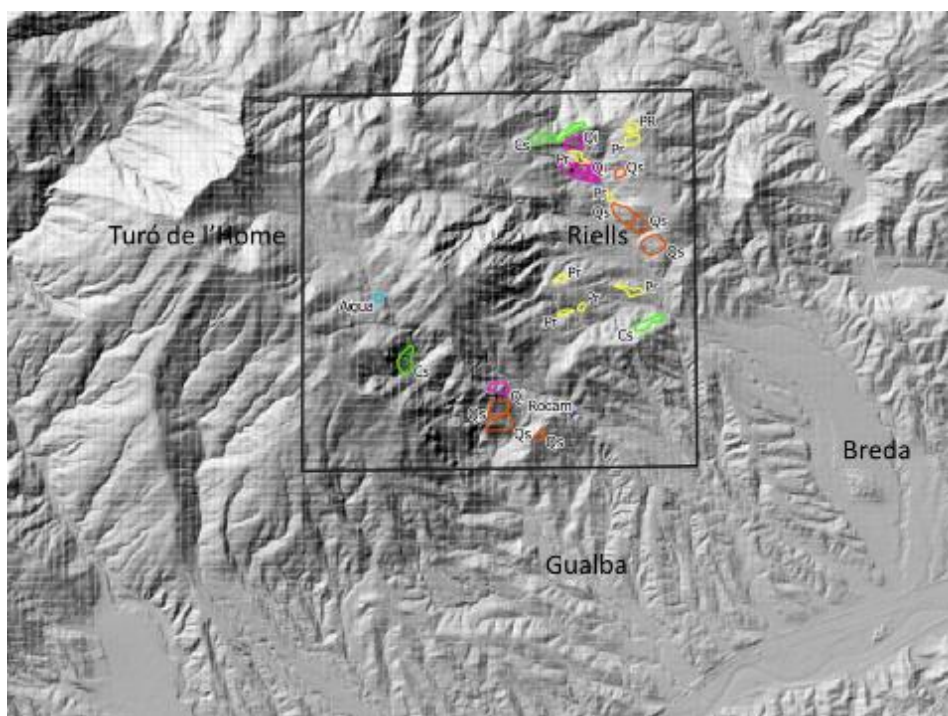


Figura 4-23: Mapa - MDT Del 2020 representat com a mapa d'ombres amb la situació dels rodals i l'espècie arbòria dominant

El MDT ha estat usat essencialment per dues tasques:

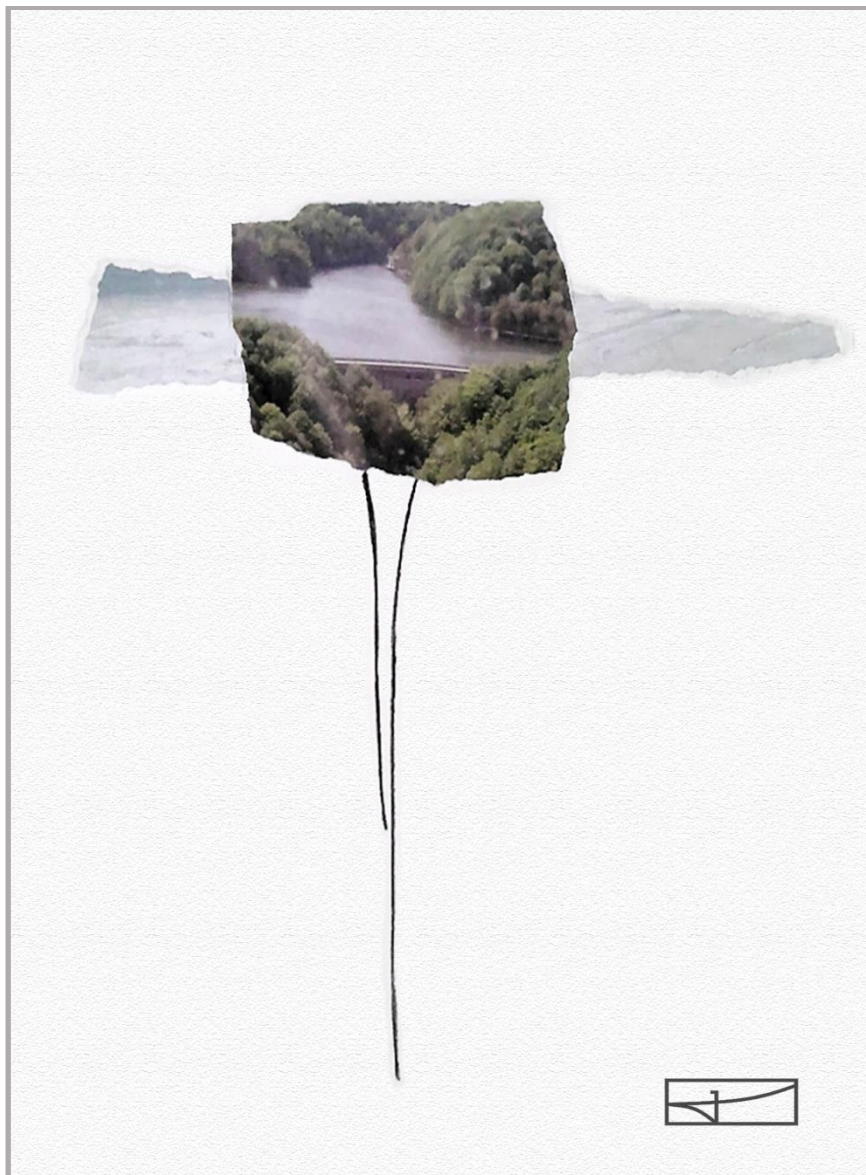
1. Altura del rodal del punt central o del punt central del cercle de l'inventari forestal: Durant el treball de camp es van prendre dades d'alçada sobre el nivell del mar dels punts centrals de l'inventari forestal dins els rodals a partir de les aplicacions mòbils que disposen d'aquesta eina (sense cobertura de dades mòbil, només en cobertura de localització GPS/GALILEO). No obstant, aquesta mesura va ser contrastada amb el MDT per garantir que estaven recollint una bona dada. Vist que les mesures preses a camp coincidien amb les del DTM es va extrapolar l'adquisició de l'altura en el punt central del rodal.

2. Per identificar les altures globals del estatges: Per identificar alçades properes als rodals i acabar de descriure l'entorn més proper dins de l'estatge de vegetació on pertany.

En el marc d'aquest treball també hauria estat molt útil tenir el Model Digital de Superfícies (MDS) que engloba també les altures dels elements sobre el territori com els edificis o els boscos. Actualment la dada d'altura de més qualitat i amb més resolució espacials és la derivada de les dades LiDAR de l'ICGC, capturades però amb data de l'any 2016. Malgrat el detall d'aquestes dades, en resulten massa desactualitzades per veure els creixements de les masses forestals.

Tot i així, en un futur proper, amb l'adquisició el 2020 d'un nou sistema LiDAR per part de l'ICGC i amb cobertures anuals, s'espera poder obtenir alçades sobre el terreny de precisió centimètrica, el que comportarà un alt valor afegit per a la identificació i seguiment de la vegetació.

5 METODOLOGIA, RESULTATS I LA SEVA DISCUSSIÓ



Parcel·la pseudoinvariant 18. Imatge presa des d'helicòpter el maig de 2006 del Pantà de Santa Fe (tècnica mixta, acrílic, fotografia i creta)

5.1 Introducció

Tal i com queda recollit en el capítol anterior, on s'ha realitzat un recull de les dades més actuals d'Observació de la Terra que s'ofereixen de forma oberta i gratuïta, s'ha conclòs que les imatges més adequades serien les que ofereixen els programes Landsat i Sentinel-2 de Copernicus per a l'estudi espectral i temporal de les masses forestals objecte d'estudi.

El gran volum de dades originades en la descàrrega de totes les imatges Landsat i Sentinel-2 ha plantejat el repte de com afrontar l'inici de la cerca de possibles patrons i informacions sistemàtiques de forma ordenada i coherent a les possibles expectatives.

En aquest sentit, el primer que s'ha realitzat és la comparació dels dos conjunts de dades Landsat i Sentinel-2 buscant les màximes similituds per la seva futura explotació. Tot i les semblances en moltes bandes espectrals i processos de transformació de les imatges es podrà demostrar que per als objectius d'aquesta Tesi és millor iniciar l'exploració amb les dades Sentinel-2 per el major nombre d'imatges anuals i millors resolucions espacials i espectrals.

En la segona part d'aquest capítol es descriu com s'han obtingut tots els perfils espectrals dels rodals des de l'any 2017 fins l'any 2020 amb imatges Sentinel-2 i com s'han anat analitzant per buscar les seves similituds entre rodals de les seves mateixes TFA i les diferències en altres TFA.

En la primera fase es comprova si és possible trobar patrons espectrals i temporals que defineixin les masses boscoses pures i, després, si és possible, masses boscoses mixtes. Les masses arbrades dels rodals d'estudi han estat catalogades segons tipologies forestals definides per ORGEST i la determinació ha estat possible gràcies al treball dendromètric al camp.

Un cop identificats aquests patrons, ens centrarem en buscar les diferències en aquelles zones forestals que inicialment haurien de tenir una resposta molt similar donades les dades anteriors a la data del canvi. Ens referim a diferents canvis tan abiòtics com biòtics o substitució de la coberta boscosa per altres. Les diferències es poden detectar

per als canvis de patrons amb caràcter disruptiu o gradual. Alguns dels canvis més habituals tenen origen en la gestió forestal o en la substitució de cobertes com l'obertura de pistes o carreteres, zones urbanes, zones agrícoles, etc. Altres canvis, a voltes, més subtils, però no sempre, poden ser la presència de temperatures extremes, tant altes com baixes que poden afectar al cicle fenològic anual dels arbres. Però també les nevades fortes, les ventades i l'excés o falta de precipitació, poden modificar el cicle fenològic de la vegetació i afectar a la seva resposta espectral al llarg del temps. Així mateix, canvis produïts per plagues o malures que poden afectar de forma visible les capçades dels arbres i ser susceptibles de detecció a partir de dades d'Observació de la Terra. En són un bon exemple els estudis relacionats amb afectacions biòtiques i el decaïment d'alguns boscos, especialment per l'escarabat *Thomicus destruens* en els boscos de *Pinus pinea* al Maresme com a resultats de sequeres importants i persistents durant els anys 2015 al 2018 (Tardà & Riera, n.d.) i per les afectacions de l'eruga peluda (*Lymantria dispar*) en els alzinars i suredes també del Maresme durant els anys 2019 i 2020 (Tardà et al., n.d.). Els estudis es basen en detectar aquestes pertorbacions a partir de imatges Sentinel-2 per tècniques d'Observació de la Terra.

Sota l'assumpció, que la resposta d'aquests patrons espectrals i temporals és concloent i que es poden identificar els canvis de cobertes al llarg del temps, consegüentment, en els estudis de les masses boscoses haurien de ser una eina rellevant en l'anàlisi de les tendències. Es podrien estudiar les tendències de creixement evolutiu de les pròpies masses forestals però també de canvis com el decaïment forestal, el canvi de localització d'espècies arbòries, la degradació paisatgística, només per citar-ne alguns. La identificació d'aquests canvis de tendència aportarien així nou coneixement per als estudis de canvi climàtic.

A nivell metodològic, es pretén demostrar en aquest treball de Tesi, que la cerca de patrons s'ha de poder portar a terme amb relativa poca informació de camp per què aquesta és difícil d'obtenir. En altres paraules, no sempre és factible ni obvi. Hem de pensar que actualment ja tenim el 4t Inventari Forestal Espanyol i que es va començar a realitzar l'any 2008. L'inventari només cobreix alguns punts del territori i són dades dendromètriques de pocs metres quadrats. Per tant, aquests inventaris malgrat ser molt importants, s'actualitzen de forma molt lenta i no cobreixen tot el territori. De fet, en

l'intent de poder ampliar les dades de camp es va sobreposar el 3r Inventari Forestal Nacional de l'Estat Espanyol (Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3), n.d.) sobre els rodals triats en aquest treball i cap punt de l'inventari va coincidir en les zones estudiades. Així doncs, la dendrometria és escassa i potser caldria aprofitar millor les dades de molts PTGMFs de Catalunya. De manera que, per poder trobar patrons espectrals i temporals s'ha buscat un mètode que requereixi el mínim possible de treball de camp.

Les tècniques d'Observació de la Terra més habituals de classificació de cobertes es basen en classificacions espectrals amb moltes dades d'entrenament, és a dir, amb molta informació de camp o de major escala que sigui molt fidedigne i pugui ser la base per classificar la resta del territori. En els estudis forestals hem argumentat que això resulta complicat, per la manca d'informació actualitzada i poc abundant i representativa geoespacialment. Tampoc és fàcil obtenir informació espectral de les espècies forestals al camp. La instrumentació és complicada ja que a més de tenir un espectròmetre o sensor espectral per mesurar la vegetació també es requereix instrumentació auxiliar per obtenir dades espectrals de les capçades dels arbres. A mode d'exemple existeix la Xarxa Fenològica Europea (EuroPhen - European Phenology Camera Network, n.d.) de punts de camp on es fa el seguiment de zones naturals i solen ser construccions alçades o torres altes equipades amb diferents sensors. En el cas dels sensors d'imatge solen ser càmeres RGB o en alguns casos càmeres amb RGB i infraroig que recullen els canvis de la vegetació diàriament i ofereixen sèries temporals de la informació espectral amb índexs de vegetació molt bàsics. Una xarxa similar és l'americana, anomenada PhenoCam Network (The PhenoCam Network, n.d.) amb 12 estacions a Europa. Cap d'aquestes estacions de camp es troben a Catalunya.

Donada la poca informació de camp, tant de dades dendromètriques com espectrals, per caracteritzar els boscos cal cercar aquesta informació amb les pròpies imatges de satèl·lit i ho hem fet a partir de les imatges Sentinel-2. Amb aquestes imatges s'han estudiat els índexs de vegetació més usats en bandes espectrals amples com les del Sentinel-2 i s'ha experimentat en buscar nous càlculs a partir de l'observació detallada de totes les signatures espectrals dels rodals principals durant els anys 2018 fins el 2020. La bibliografia específica recull de forma clara que la vegetació i els seus canvis es

manifestem espectralment en les zones del verd, vermell i especialment de l'infraroig. A més existeix una zona entre el vermell i l'infraroig anomenada *red edge* o llinyar vermell que recull el pendent de canvi més fort quan la vegetació es més vigorosa (capítol 3.1). Aquestes zones espectrals han estat comparades i s'ha considerat fer un índex de variació entre les mitjanes de cada canal obtenint un valor únic per cada rodal de cada imatge. S'han comparat amb els altres índexs de vegetació i s'ha comprovat que recull millor les diferents respostes espectrals de cada massa forestal al llarg de tot l'any. S'han obtingut patrons temporals dels rodals amb la massa boscosa més pura segons les TFA.

S'ha aplicat el nou índex proposat, com a resultat d'aquest treball de Tesi, a tota la zona de treball que engloba tots els rodals per identificar si els altres rodals responen a un índex similar. S'han buscat les variacions per veure si provenen del canvis per gestió forestal o per variacions meteorològiques. Els resultats són concloents i podrien així, esdevenir precursors en estudis a més llarg termini per obtenir tendències de canvi en els boscos amb les col·leccions històriques del Landsat, adaptant el model a les seves bandes espectrals.

5.2 La correcció atmosfèrica de les imatges

Les imatges multiespectrals un cop captades pel sensor a bord de la plataforma satèl·lit requereixen uns pre-processos abans de ser analitzades. Es tracta essencialment de transformar els valors digitals que inclouen correccions radiomètriques a diferents nivells per obtenir un valor físic de resposta espectral de cada píxel i d'aplicar correccions geomètriques per poder registrar aquestes imatges a altres mapes, ortoimatges o informació geoespacial relacionada.

Les plataformes de distribució d'imatges de satèl·lit Landsat i Sentinel-2 ofereixen imatges on s'ha realitzat pre-processos estandarditzats de tractament d'imatges. Breument aquests processos serien:

1. Transformació de les dades crues o *digital numbers* a radiàncies: On inclou el calibratge de les distorsions dels sensor com el soroll electrònic, el moviment del sensor i de les dades.

2. Correcció geomètrica de les imatges: Cada píxel de les imatges es situat amb coordenades geogràfiques en el territori. Normalment per corregir les imatges s'usen punts de control al territori, es calculen les efemèrides i s'introdueix el DTM per corregir les distorsions del relleu. Depèn del nivell de procés la correcció geomètrica és més acurada o no.
3. Transformació de les unitats de radiàncies a unitats de reflectància: l'efecte atmosfèric inherent a la captació del senyal degrada la resposta espectral de la coberta. Per aquest motiu es realitzen correccions atmosfèriques que intenten aproximar-se al model atmosfèric de la data i lloc concret de la imatge i sostraure'l del senyal. Com que el component atmosfèric és complex i difícil de resoldre existeixen diferents estratègies per a minorar-lo. Així doncs les correccions atmosfèriques del programa Landsat no són exactament les mateixes que les del Sentinel-2, i, per tant, quan parlem de valors de reflectància de la superfície aquestes no són exactament el mateix com veurem en el següents apartats.

Un dels trets més diferenciadors entre les dues col·leccions és que les unitats de reflectància calculades del Landsat no contemplen explícitament l'efecte topogràfic en el senyal mentre que les imatges Sentinel-2 s'introdueix en la correcció atmosfèrica. La correcció topogràfica és prioritària en els nostre estudi ja que les masses boscoses es troben en una zona muntanyosa de forts pendents i orientacions. Normalment es pot usar el MDT o el DSM per corregir l'efecte del relleu i orientació de la coberta. Aquest efecte no ha estat corregit a les unitats de reflectància de les imatges Landsat mentre que en les imatges Sentinel-2 han estat corregides a partir del DEM del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

5.2.1 Imatges programa Landsat

Com s'ha descrit en el capítol 4 les imatges Landsat descarregades formen part de la Col·lecció 2 Nivell 2 del programa Landsat. Aquestes imatges tenen les correccions radiomètriques bàsiques i la correcció geomètrica però també inclouen correccions

atmosfèriques per obtenir unes unitats de reflectàncies de la superfície. Usen diferents algorismes segons les col·leccions de Landsat8 , Landsat 4 o 5 TM i Landsat 7 però totes elles inclouen correccions dels efectes de dispersió i absorció dels gasos atmosfèrics, aerosols i vapor d'aigua en la resposta espectral en diferents zones i dates.

Una de les diferències principals en les col·leccions Landsat és l'ús de dos algorismes del model de transferència radiativa diferents per calcular condicions atmosfèriques de les imatges. En el cas de les imatges Landsat 8 és propi de l'USGS i per les imatges del Landsat 4 i 5 Tm i Landsat 7 és el model 6S (USGS, n.d.).

5.2.2 Imatges programa Sentinel-2

Les imatges Sentinel-2 es presenten en dos grans productes segons els seu nivell de procés. El nivell L1C són les correccions bàsiques per obtenir els valors de reflectància per sobre l'atmosfera (TOA reflectances) i el nivell L2A que incorpora un conjunt de correccions atmosfèriques obtenint unitats de reflectància de la superfície terrestre (BOA reflectance). Aquestes darreres són les imatges que s'han escollit per realitzar l'estudi.

Aquestes correccions atmosfèriques es realitzen amb el programa SEN2COR de la mateixa ESA. Però el programa també està a l'abast de l'usuari per si es vol modificar, incloure o excloure part d'aquestes correccions.

En aquest estudi s'ha pres la imatge ja transformada per la ESA que inclou principalment correccions atmosfèriques, correccions dels cirrus i correccions del terreny a partir del MDT del SRTM.

5.2.3 Anàlisi comparatiu aproximacions

Un cop obtingudes totes les imatges Landsat i Sentinel-2 als nivells de pre-procés més similars es realitza una comparació dels valors de reflectància de les cobertes forestals d'alguns rodals i també de les parcel·les pseudoinvariants d'aigua i rocam per veure si la resposta espectral és similar. Aquests tipus de comparacions són molt habituals quan es vol valorar els calibratges i correccions atmosfèriques de imatges preses en diferents

moments o entre imatges de programes de satèl·lit diferents (Vaiman et al., 2013), (Li et al., 2017). Són tècniques basades en l'estudi de les respostes de les bandes en diferents signatures espectrals.

Inicialment es comparen les bandes entre els dos tipus d'imatges. En concret, es comparen les bandes del Sentinel-2 L2A i les bandes del Landsat 8. Les bandes coincidents són les tres bandes del visible, la blava, la verda i la vermella i una banda del NIR i dues bandes del SWIR. En la Taula 5-1 es troben les bandes comparades.

Taula 5-1: Taula de correspondències entre les bandes espectrals del Sentinel-2 L2A i el Landsat 8

Sentinel-2 L2A			Landsat 8		
número banda L2A	banda original	Centre espectral (nm)	Centre espectral (nm)	banda	Zona Espectre
			443	1	Ultraviolat
1	2	490	482	2	Blau
2	3	560	561.5	3	Verd
3	4	665	654.5	4	Vermell
4	5	705			Red edge 1
5	6	740			Red edge 2
6	7	783			Red edge 3
7	8	842			NIR
8	8a	865	865	5	NIR
9	11	1610	1608.5	6	SWIR
10	12	2190	2200.5	7	SWIR

Com es pot observar en la Taula 5-1 s'han recollit dues nomenclatures numèriques per identificar les bandes del Sentinel-2: La numeració de les bandes originals i la numeració derivada de les bandes exclusives del nivell L2A. Aquesta numeració seqüencial és la que s'usarà en tot l'estudi per identificar numèricament les bandes el Sentinel-2. Malgrat la similitud espectral d'algunes bandes s'ha de considerar que totes

les bandes recollides del Landsat 8 tenen una resolució espacial de 30 metres, mentre que les bandes del Sentinel-2 tenen resolucions espacials entre 10 i 20 metres originalment, tot i que finalment durant el procés de descàrrega d'imatges es van remostrejar totes elles a 10 metres. Per tant, les imatges Sentinel-2 tenen un major detall tant espectral com espacial.

Per comparar els resultats dels canals entre el Landsat 8 i el Sentinel-2 es van fer diferents aproximacions. La més evident ha estat cercar dues imatges de la mateixa data amb bona qualitat radiomètrica i compara-les amb les mateixes bandes i la mateixa superfície. Les dues imatges coincidents durant l'any 2020 es van donar el dia 25 d'agost. Totes dues tenien bona qualitat i eren de l'estiu amb bones condicions d'il·luminació. Les imatges en concret són:

Landsat 8:

LC08_L2SP_197031_20200825_20200905_02_T1

Sentinel- 2:

S2A_MSIL2A_20200825T104031_N0214_R008_T31TDG_20200825T151314

Les dues imatges són en format GEOTIFF 16 bits, però els valors de reflectància estan escalats de forma diferent. Per poder ser comparables cal transformar-los a números adimensionals, en aquest cas entre 0 i 1, on 0 indica que no n'hi ha, no es reflecteix res i 1 es reflecteix tota la llum.

La transformació és la següent:

$$\text{Sentinel-2 L2A} = \mathbf{Valor/10000}$$

$$\text{Landsat Collection 2 Level 2} = \mathbf{Valor *0.0000256+-0.2}$$

Els valors de reflectància s'han calculat per diferents cobertes. En la Figura 5-1 es mostren els valors de reflectància del rodal 6: Baga de Corbera, amb un 85% de FCC de *Castanea sativa*. S'ha calculat la mitjana de cada banda i s'ha representat en unes gràfiques amb les seves signatures espectrals per cada tipus d'imatge ja que no tenen exactament les mateixes bandes. Es pot observar que tot i tenir una signatura espectral

similars els valors de reflectància són més alts en el Sentinel-2. Aquest efecte passava en totes les cobertes forestals que es van comparar amb les dues imatges.

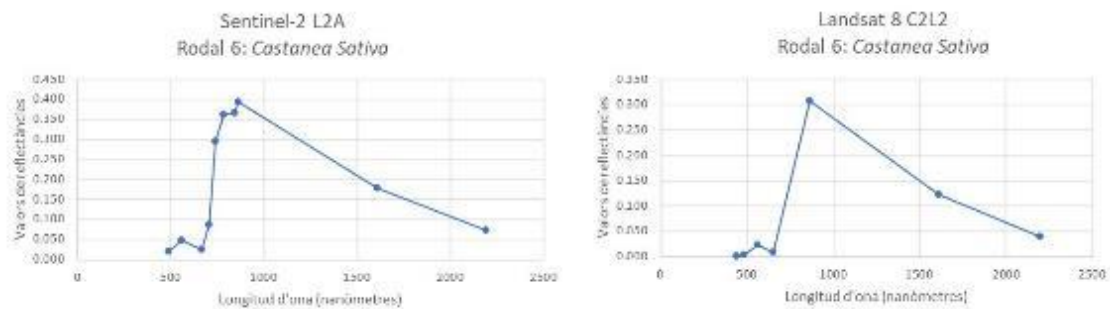


Figura 5-1: Signatura espectral del rodal 6 de *Castanea Sativa* per imatges Sentinel-2 i Landsat (data 25/08/2020)

Per comparar millor dues signatures espectrals s'ha fet una representació conjunta on la signatura espectral del mateix rodal d'interès on pel Landsat queda interrompuda on no té les bandes. En la Figura 5-2 es poden veure quatre rodals comparats per al mateix dia amb les dues imatges.

Es pot comprovar que en tots els casos la signatura espectral Landsat té valors de reflectàncies més baixos que les signatures espectrals del Sentinel-2, però amb una tendència molt similar.

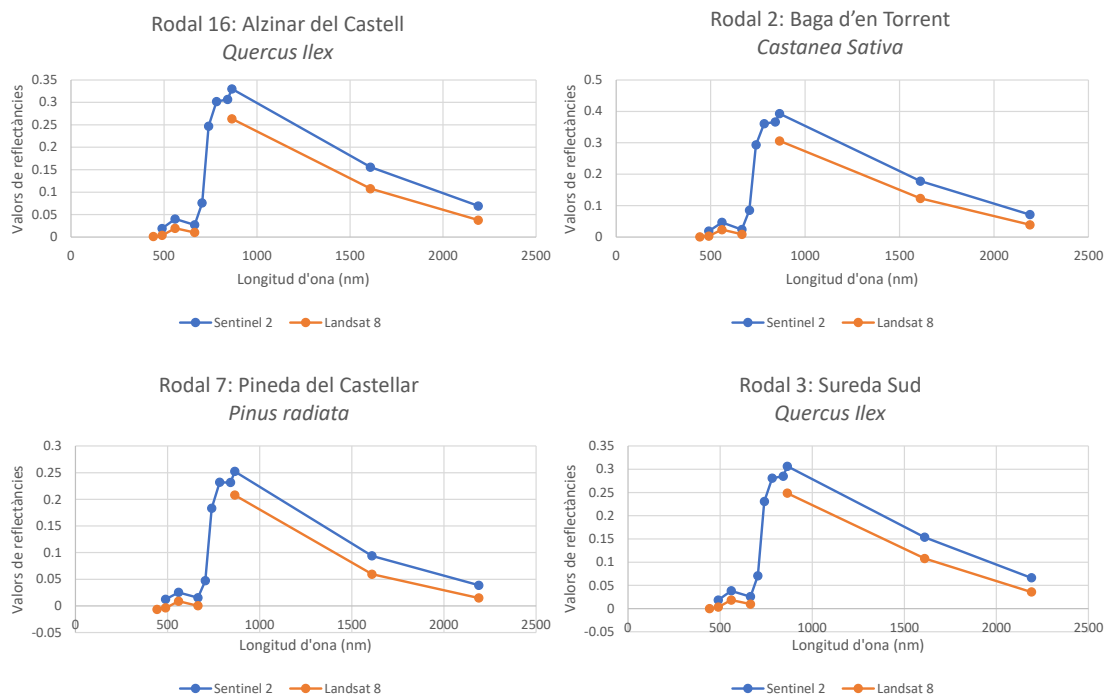


Figura 5-2: Signatures espectrals de quatre cobertes forestals pel mateix dia 25/08/2020 per Landsat 8 i Sentinel-2

Per acabar de comparar els valors de reflectàncies és il·lustratiu veure com es comporta en cobertes pseudoinvariants com l'aigua molt fosca de l'embassament de Santa Fe o el rocam del marbre blanc de la pedrera a l'exterior de Can Viader (Annex 4: Parcel·les pseudoinvariants) . Per establir aquesta comparació s'han aplicat les mitjanes de valors de reflectància de les parcel·les 18 i 21 com es pot veure en la Figura 5-3. Aquestes parcel·les són properes als rodals estudiats.

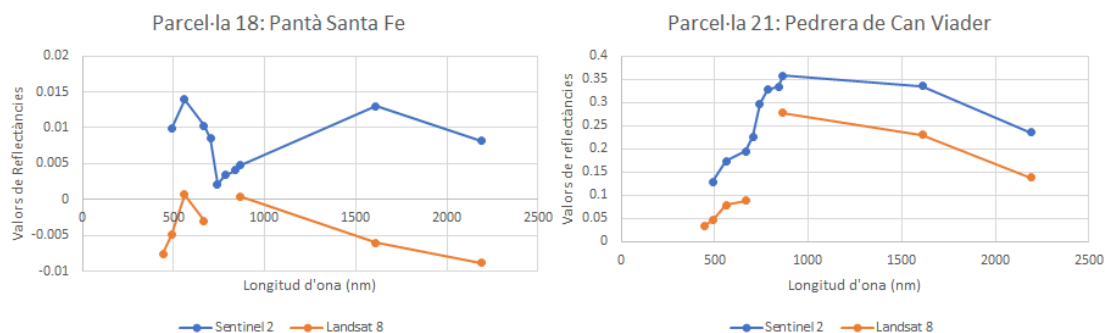


Figura 5-3: Signatures espectrals de dos cobertes pseudoinvariants pel mateix dia 25/08/2020 per a Landsat i Sentinel-2

En les cobertes més fosques com l'aigua de l'embassament de Santa Fe, sembla que la correcció radiomètrica i atmosfèrica no ha funcionat correctament amb la imatge Landsat ja que fins i tot dona valors negatius, en canvi en les cobertes més clares, acostant-se al color blanc, els valors de reflectància tornen a ser similars però sempre valors més baixos de la resposta espectral del Landsat. Aquesta tendència es pot donar per molts motius, per exemple per una aplicació de models de transferència radiativa de l'atmosfera diferents o per manca de correcció topogràfica de les imatges Landsat. Per tal de comprovar si aquestes diferències són significatives s'han comparat les diferències de tres rodals d'alzinar entre les dues imatges. En la Taula 5-2 s'observa que les diferències més grans es donen en les bandes de l'infraroig, però només en un cas s'assoleix més del 5% de diferència.

Taula 5-2: Diferències entre els valors de reflectàncies de Sentinel-2 amb Landsat 8 per tres rodals d'alzinar

Centre de banda(nm)	Rodal 1	Rodal 4	Rodal 16
490	0.015	0.016	0.012
560	0.020	0.020	0.014
665	0.016	0.017	0.013
865	0.058	0.017	0.016
1610	0.046	0.039	0.026
2190	0.030	0.028	0.022

Amb aquestes dades es pot considerar que les imatges obtingues amb bones condicions meteorològiques i amb els corresponents controls de qualitat interns aplicats del Sentinel-2, contenen valors de reflectàncies similars per poder ser comparables amb les cobertes forestals.

5.3 Obtenció de les signatures espectrals

Un cop realitzat l'anàlisi comparatiu de les signatures espectrals entre les imatges Sentinel-2 i Landsat i comprovada la seva capacitat comparable de resposta espectral s'ha considerat estudiar inicialment les imatges Sentinel-2 per ser més abundants en el període d'un any i tenir una resolució espectral i espacial més alta. Es considera que si

es pot trobar alguna informació determinant per distingir les TFA i localitzar els seus canvis ha de ser buscada en el millor conjunt d'imatges possible.

S'ha de considerar que les signatures espectrals del Sentinel-2 basades amb els valors de reflectància ja presenten un bon conjunt de correccions atmosfèriques realitzades i, per tant, en bona mesura ja no haurien de influir en el senyal recollit. El nivell del senyal L2A subministra diferents tipus d'informació com la resposta espectral segons la banda, les condicions d'il·luminació solar no corregides amb la correcció atmosfèrica, la resposta espectral de les capçades dels arbres, l'estructura de la vegetació de la capçada i del sotabosc, el tipus de sòl, les condicions d'humitat, etc. Les diferents components del senyal queden recollides en la Taula 5-3 presentada per Stenberg et al. (Stenberg et al., 2008) quan es plantegen modelitzar la signatura espectral dels boscos.

Taula 5-3: Variables que afecten la signatura espectral del bosc (excloent la topografia del terreny i l'atmosfera) autor: Stenberg et al.

Sensor	Il·luminació	Boscos i capçades d'arbres	Sotabosc i el sòl
Zenit i azimuts	Angles d'incidència i azimut	Estructura a macroescala (distribució, mida i forma de les capçades dels arbres)	Estructura geomètrica (quantitat, distribució, mida i forma de les plantes del sotabosc)
Bandes espectrals i la seva sensibilitat	Longitud d'ona	Estructura a microescala (distribució, mida i forma de les fulles, els brots i les branques)	Propietats espectrals de les plantes de sotabosc
Resolució espacial		Altres elements estructurals (ex: Distribució, mida i forma de els troncs i branques)	Propietats òptiques del sòl (influenciades per exemple per la humitat i textura del sòl)
		Propietats espectrals de tots els elements de la capçada de l'arbre.	

Per tant quan fem l'extracció de les signatures forestals de cada TFA arbrada determinada en el treball de camp hem de considerar que està formada per tots aquests components i si algun d'ells és prou determinant potser podrà ajudar a dividir clarament les signatures espectrals.

5.3.1 Signatures espectrals del Sentinel 2

Inicialment s'han pres totes les imatges del 2020 que es van descarregar i s'han calculat les mitjanes de cada banda de cada imatge per cada rodal. Amb aquest conjunt de dades s'han obtingut els perfils o signatures espectrals per cada coberta forestal estudiada.

Per cada rodal i per a cada data de cada any es fan els càlculs estadístics bàsics per cada banda espectral. En concret es recull el número de banda i per cada banda el nombre de píxels, el valor màxim de reflectància, el valor de mitjana de tot el rodal, el valor de la mediana, el valor mínim, el rang de valors trobats, la desviació estàndard, la suma de tots els valors, el valor únic i la variància.

En la Taula 5-4 es recullen les estadístiques bàsiques del rodal 3: Sureda Sud per la imatge Sentinel-2A del dia 13 de desembre del 2020.

Taula 5-4: Estadístiques bàsiques per al rodal 3: Sureda sud per a totes les bandes de la imatge Sentinel-2 del dia 13/12/2020

20201213										
band	count	max	mean	median	min	range	std	sum	unique	var
1	922	3812	1241.53037	1068	54	3758	948.615527	1144691	705	899871.418
2	922	3806	1371.57158	1237	195	3611	908.550503	1264589	710	825464.017
3	922	3672	1298.82538	1170	122	3550	918.253707	1197517	702	843189.871
4	922	4026	1665.56725	1517.5	428	3598	912.177204	1535653	233	832067.252
5	922	4631	2742.87527	2760	1466	3165	752.918284	2528931	235	566885.942
6	922	4810	3076.30152	3118	1771	3039	714.904912	2836350	238	511089.033
7	922	4844	3154.18221	3202.5	1470	3374	691.262077	2908156	769	477843.26
8	922	4936	3307.34056	3350	2010	2926	706.814214	3049368	237	499586.333
9	922	4441	2454.58243	2417.5	971	3470	939.546936	2263125	237	882748.445
10	922	4173	1870.62473	1821	427	3746	1036.39519	1724716	238	1074114.99

Aquestes estadístiques bàsiques es calculen per totes les imatges de l'any i es fa una primera anàlisi visual. Es pren la mitjana (valors de reflectàncies en 16 bits del Sentinel-2) com a referència per representar gràficament la resposta espectral en les diferents bandes. La gràfica de la Figura 5-4 és la representació de totes les bandes de totes les imatges del 2020 disponibles per a la parcel·la concreta. Ràpidament es poden avaluar les deficiències en les correccions atmosfèriques d'algunes imatges. En aquest cas

concret, tres imatges no es podien considerar com a bones ja que la seva resposta espectral difereix totalment de la resta de la resposta espectral de les imatges anteriors o posteriors.

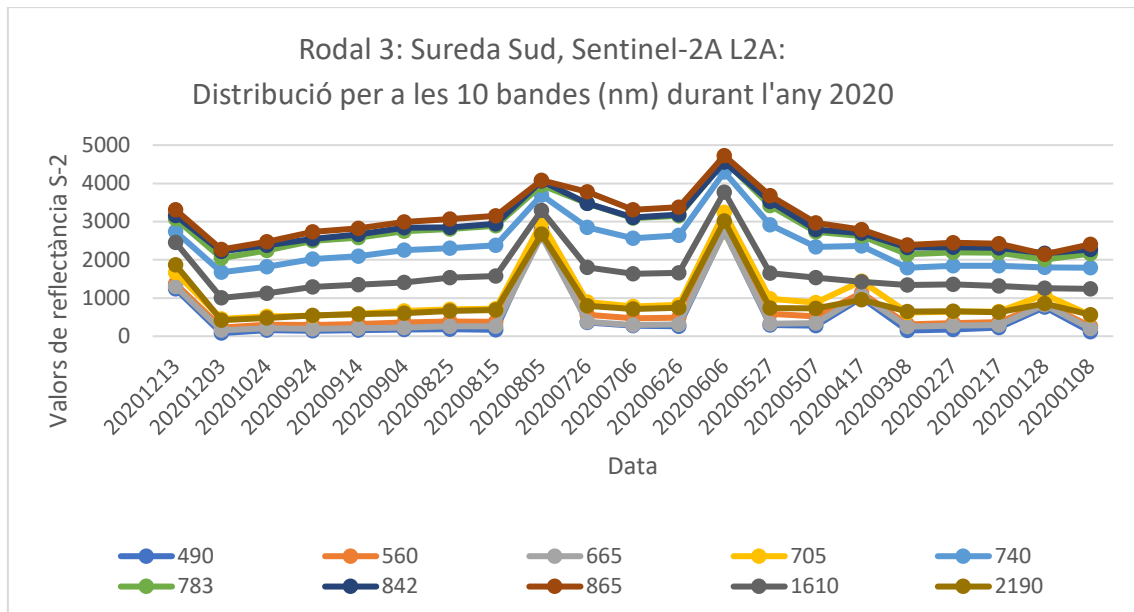


Figura 5-4: Representació de tots els valors de reflectància per cada banda i cada imatge durant un any del rodal 3

El conjunt de les imatges disponibles, ja va passar un primer control visual per no incloure les imatges que tenien una cobertura total de núvols, però moltes altres imatges tenien zones cobertes parcialment per boires, bromes, boirines i les seves ombres sobre el territori i no les vàrem descarregar per ser aprofitades quan fos possible. Es considera que si un rodal no es veu afectat per aquestes perturbacions locals, la imatge Sentinel-2 és considerada per a l'estudi. En canvi si el seu comportament no és l'esperable a nivell de rodal s'ha d'excloure, atenent als condicionants anteriorment exposats. Efectivament es comprova que les imatges 2020/12/13, 2020/08/05 i 2020/06/06 tenen núvols i que les imatges 2020/04/17 i 2020/01/28 tenen boires. S'exclouen les imatges amb núvols i boires a la zona.

Un cop triades les imatges amb una resposta espectral dintre dels límits esperables es representen les signatures espectrals de cada imatge agrupades en un sol gràfic (Figura 5-5). Aquest gràfic permet veure com la resposta espectral de les diferents bandes de la signatura varien en el decurs de l'any. Sense tenir en compte cap perturbació externa,

les variacions bàsiques es poden així associar al canvi fenològic de la coberta vegetal, en aquest cas essencialment de la coberta arbòria.

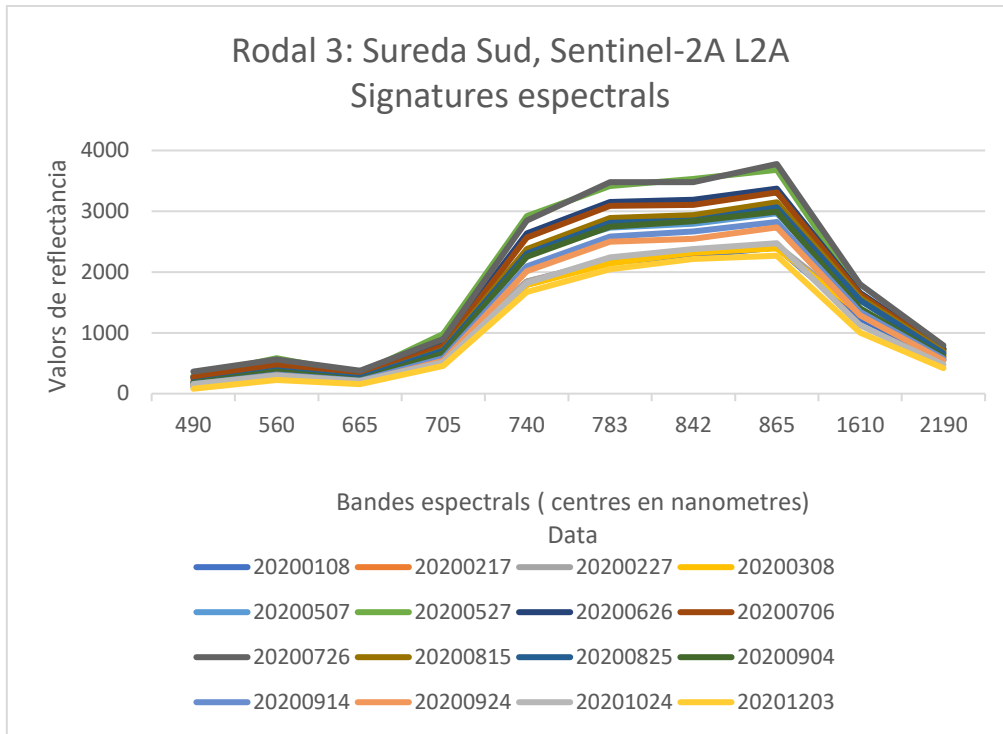


Figura 5-5: Signatures espectrals del rodal 3: Sureda Sud per a les imatges Sentinel-2 durant l any 2020

Es pot observar clarament com els canvis més grans són en les bandes centrals que corresponen a les zones del *red edge* i infraroig proper. Si aquesta visualització la contemplem des d'altres representacions com a contorns en un pla o en 3D es comprova que el comportament per bandes més variable es dóna especialment els mesos de primavera i estiu (Figura 5-6).

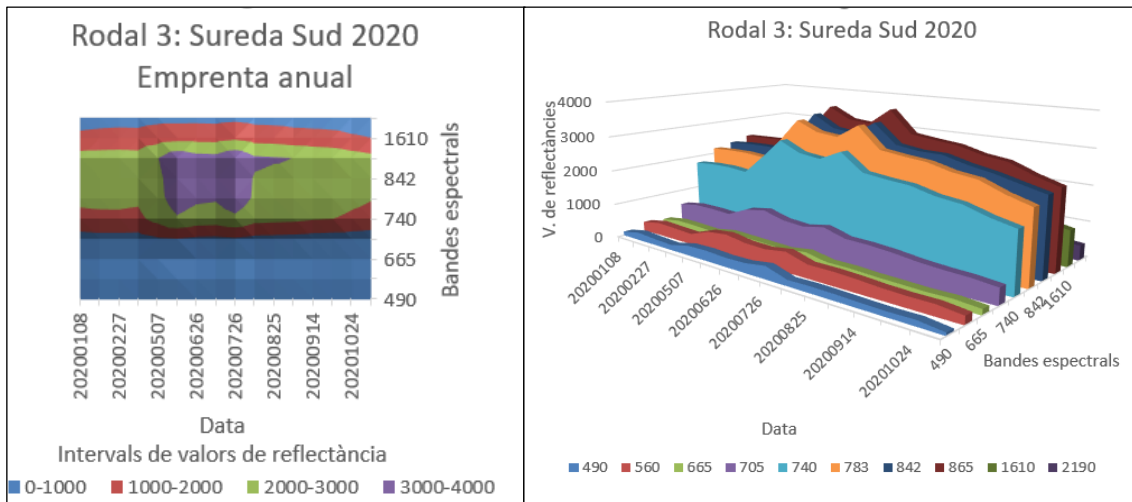


Figura 5-6: Dues representacions gràfiques per a les signatures espectrals anuals del *Quercus Suber*

Aquest comportament fenològic esdevé representatiu d'una coberta arbòria de tipus perennifòlia com és el *Quercus suber*. En l'anàlisi en altres cobertes arbòries es veurà com els comportaments fenològics són diferents. En la Figura 5-7 es recullen les representacions de les signatures espectrals del rodal 2 format per una baga de castanyer amb una cobertura completa de *Castanea sativa*, arbre de fulla caduca.

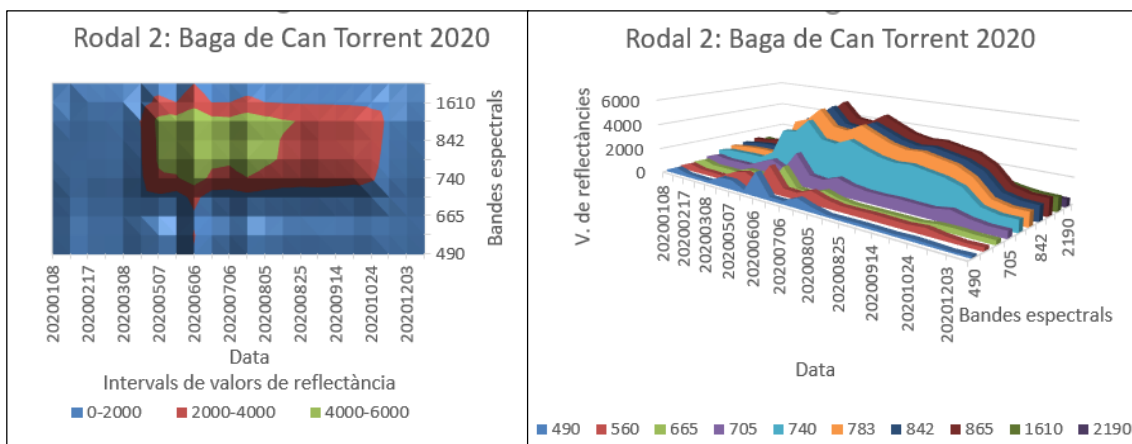


Figura 5-7: Dues representacions gràfiques per a les signatures espectrals anuals de *Castanea sativa*

S'observa com durant l'hivern els valors de reflectància són molt baixos en totes les bandes donada la pèrdua del fullatge.

5.3.2 Descarrega massiva de les dades estadístiques bàsiques

Com s'ha detallat en l'apartat anterior, inicialment es van calcular tot un conjunt de mesures estadístiques bàsiques que, un cop valorades, s'ha considerat que no són totes elles necessàries per fer un tractament massiu i exclusiu de les mitjanes de totes les bandes dels rodals. Per aquest motiu s'ha considerat que en la direcció d'un procés el més automatitzat possible només es recullin un conjunt reduït per a cada banda de cada rodal de cada imatge, ja que són suficients. Per a cada banda de cada imatge s'ha extret, a partir de l'eina del QGIS *Raster layer zonal statistics*, un arxiu de text amb els següents paràmetres:

Zone: Número del rodal

m²: Superfície en metres quadrats del rodal

Sum: Sumatori de tots el valors de reflectància

Count: Número de píxels continguts al rodal

Mín: Valor de reflectància mínima en el rodal

Màx: Valor de reflectància màxima en el rodal

Mean: Mitjana dels valors de reflectància del rodal

Per fer l'extracció es necessita la imatge que conté les 10 bandes de valors de reflectància i un segon ràster amb els perímetres dels rodals (transformat de l'arxiu vectorial que es va usar per fer el treball de camp). Així cada arxiu de text conté només la informació dels 25 rodals i parcel·les d'interès per cada banda. A continuació es recull l'exemple d'una extracció de dades:

```
B1Subset_S2A_MSIL2A_20180118T104351_N0206_R008_T31TDG_20180118T141214_resampled.csv
```

Aquest arxiu de text conté per a la imatge S2A del dia 18 de gener del 2018 les estadístiques bàsiques de la banda 1 per tots el rodals i parcel·les:

“zone,m2,sum,count,min,max,mean

16.00000000,45300.00000000,49427.00000000,"453",46.00000000,250.00000000,109.11037528
12.00000000,33000.00000000,37892.00000000,"330",15.00000000,274.00000000,114.82424242
9.00000000,22600.00000000,5076.00000000,"226",1.00000000,101.00000000,22.46017699
7.00000000,28500.00000000,8978.00000000,"285",1.00000000,156.00000000,31.50175439
14.00000000,11700.00000000,8199.00000000,"117",1.00000000,149.00000000,70.07692308
1.00000000,64200.00000000,66931.00000000,"642",15.00000000,287.00000000,104.25389408
10.00000000,15500.00000000,6295.00000000,"155",1.00000000,130.00000000,40.61290323
2.00000000,86700.00000000,94560.00000000,"867",1.00000000,269.00000000,109.06574394
3.00000000,79100.00000000,89992.00000000,"791",14.00000000,368.00000000,113.76991150
25.00000000,77400.00000000,151590.00000000,"774",49.00000000,653.00000000,195.85271318
20.00000000,44400.00000000,46951.00000000,"444",1.00000000,461.00000000,105.74549550
22.00000000,27300.00000000,26694.00000000,"273",16.00000000,189.00000000,97.78021978
17.00000000,42700.00000000,64172.00000000,"427",30.00000000,371.00000000,150.28571429
21.00000000,1700.00000000,20130.00000000,"17",462.00000000,1660.00000000,1184.11764706
23.00000000,27500.00000000,45694.00000000,"275",67.00000000,299.00000000,166.16000000
5.00000000,20700.00000000,26070.00000000,"207",76.00000000,214.00000000,125.94202899
4.00000000,43300.00000000,32933.00000000,"433",1.00000000,180.00000000,76.05773672
24.00000000,66700.00000000,127471.00000000,"667",84.00000000,598.00000000,191.11094453
11.00000000,86400.00000000,105952.00000000,"864",5.00000000,390.00000000,122.62962963
15.00000000,28600.00000000,9973.00000000,"286",1.00000000,221.00000000,34.87062937
8.00000000,7300.00000000,3745.00000000,"73",3.00000000,121.00000000,51.30136986
6.00000000,72300.00000000,119462.00000000,"723",21.00000000,1131.00000000,165.23098202
18.00000000,10100.00000000,22131.00000000,"101",98.00000000,669.00000000,219.11881188
19.00000000,19800.00000000,26412.00000000,"198",1.00000000,509.00000000,133.39393939
13.00000000,10800.00000000,5809.00000000,"108",8.00000000,123.00000000,53.78703704”

Per tal de poder automatitzar tot el procés basat en l’adquisició de totes les mitjanes i la resta de valors estadístics per a cada banda, de cada imatge, per tots els rodals i per tots els anys s’ha desenvolupat un model QGIS que permet automatitzar el flux de treball de forma ràpida i amb integritat. El model recull tres fases de càlcul, la fase primera seria l’execució de l’eina *Raster layer zonal statistics* com s’ha descrit anteriorment, la segona fase és repetir la mateixa tasca per totes les bandes de cada imatge i la tercera fase és fer el mateix per totes les imatges d’un any. En la Figura 5-8 es representa esquemàticament el flux de càlcul automatitzat. Al final del procés hem obtingut quatre grups de dades per els quatre anys, des del 2017 fins el 2020.

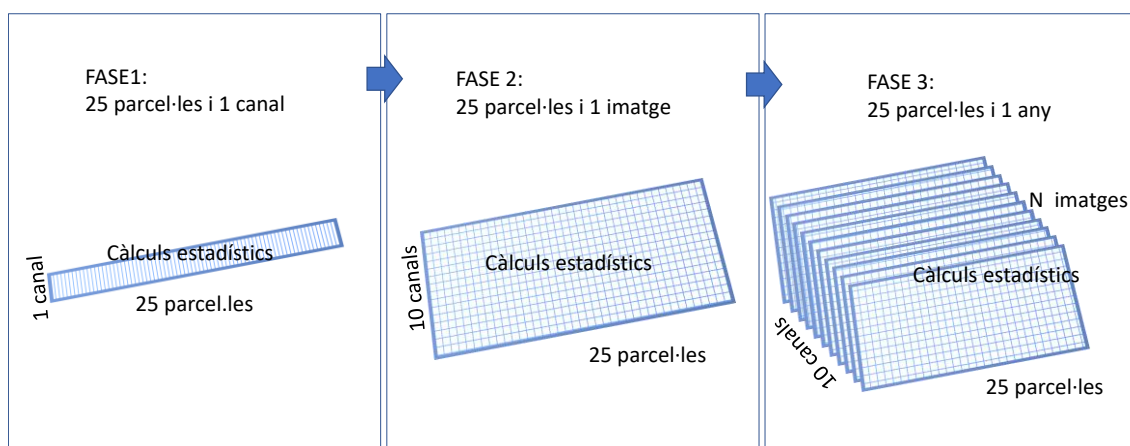


Figura 5-8: Flux de càlculs dels paràmetres estadístics per als valors de reflectància per a totes les imatges d'un any

Per a confeccionar el flux de treball hem fet servir el Model Builder del QGIS que permet introduir les capes d'entrada de forma comuna amb els algorismes de càlcul estadístic, i els arxius de sortida de la fusió de dades parcials i globals. En la Figura 5-9 es mostra l'esquema detallat del flux:

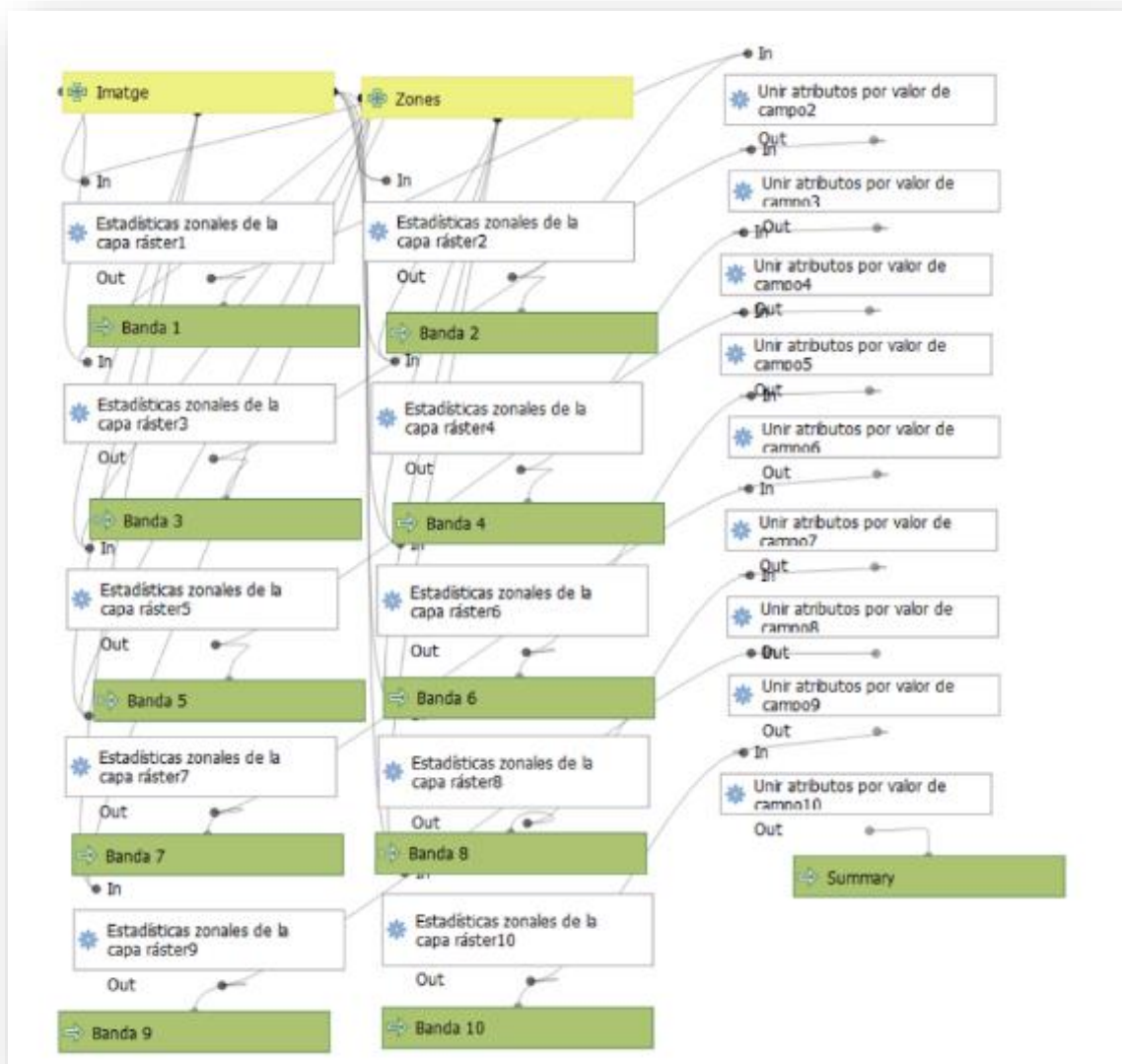


Figura 5-9: Model QGIS de procés de les dades estadístiques

El model es pot executar per paquets on es poden incloure totes les imatges de cada any. L'arxiu d'execució de totes les dades anuals es guarda en un arxiu d'execució en format JSON per cada any, a més es pot salvar com *script* de procés de Python on es pot editar i guardar per executar de forma més còmode. Aquest model de flux de procés es vàlid tant per les imatges Landsat com Sentinel 2. Amb aquestes dades es podran construir les signatures espectrals de cada rodal.

5.3.3 Generació de les sèries temporals

L'obtenció dels valors de reflectància per cada banda i per cada imatge per tot un any comporta un molt elevat nombre de dades, el que, d'entrada, dificulta enormement la seva anàlisi i interpretació.

En la Figura 5-10 s'ha representat una sèrie temporal del rodal 3 amb 17 imatges Sentinel-2A per a les deu bandes en l'any 2020 sense cobertura de núvols global. El rodal 3 està format per un bosc de sureda i sotabosc de matollar escleròfil·le. Això vol dir que la vegetació dominant és de tipus perennifoli on la fulla no s'acaba de perdre mai. Per tant, les corbes espectrals acumulades demostren de forma general que les bandes del *red edge* i infraroig sempre tenen valors alts per la reflectivitat de les fulles verdes de la vegetació durant tot l'any. La part central de la imatge respon a les estacions de primavera i estiu on sembla apreciar-se una resposta en aquests canals més alta.

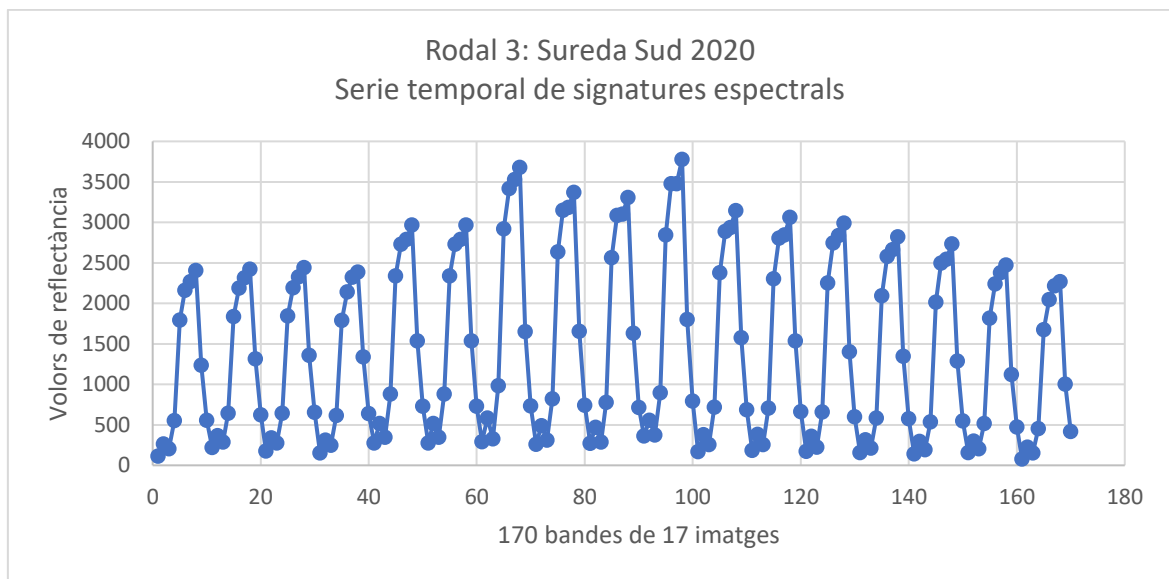


Figura 5-10: : Sèrie temporal Sentinel-2A de les signatures espectrals del *Quercus suber* per l'any 2020

Si observem la mateixa sèrie per un altre rodal amb vegetació caducifòlia amb una col·lecció d'imatges sense afectació de núvols es pot observar que les signatures espectrals de l'inici i al final de la sèrie tenen una resposta espectral molt baixa. Respon al període hivernal on la pèrdua de les fulles genera una resposta espectral gairebé nul·la

en els canals del *red edge* i infraroig. En la Figura 5-11 es mostra la resposta de la baga de *Castanea sativa* en el rodal 2.

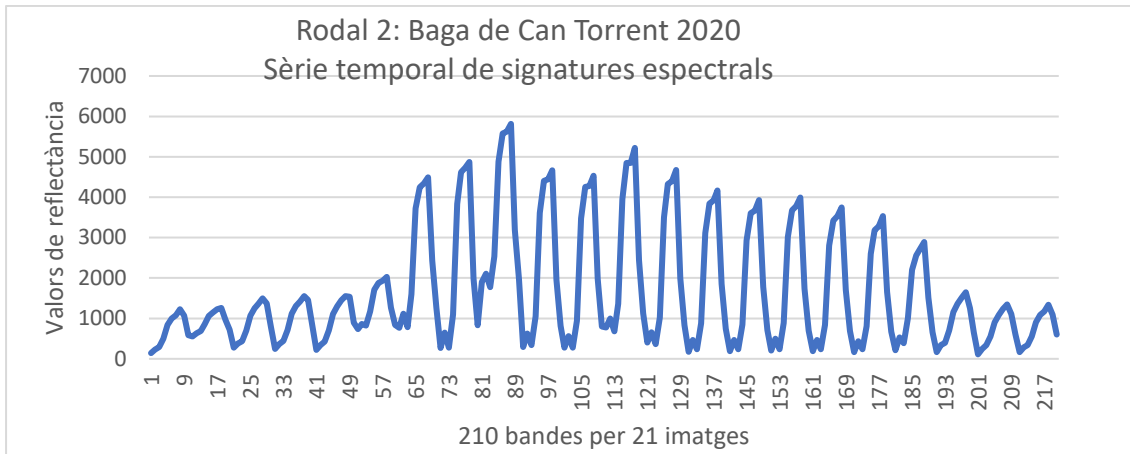


Figura 5-11: Sèrie temporal Sentinel-2A de les signatures espectrals del Castanea sativa per l'any 2020

En la Figura 5-12 s'han recollit tres tipus diferents de bosc de la zona d'estudi per totes les imatges disponibles del Sentinel-2A. Amb les tres cobertes es poden trobar algunes diferències entre les tres masses. No s'han de tenir en compte els petits canvis molt sobtats com en la pineda en les bandes 110 a 120 que corresponen a alguna coberta de núvols puntual del rodal. Aquestes dades defectuoses s'han deixat en el conjunt de la comparació per veure els mateixos perfils amb les mateixes bandes. Es pot confirmar que els boscos caducifolis de castanyer tenen diferències substancials al llarg de l'any però en canvi l'alzinar i la pineda tenen respostes similars per a moltes imatges al llarg de l'any.

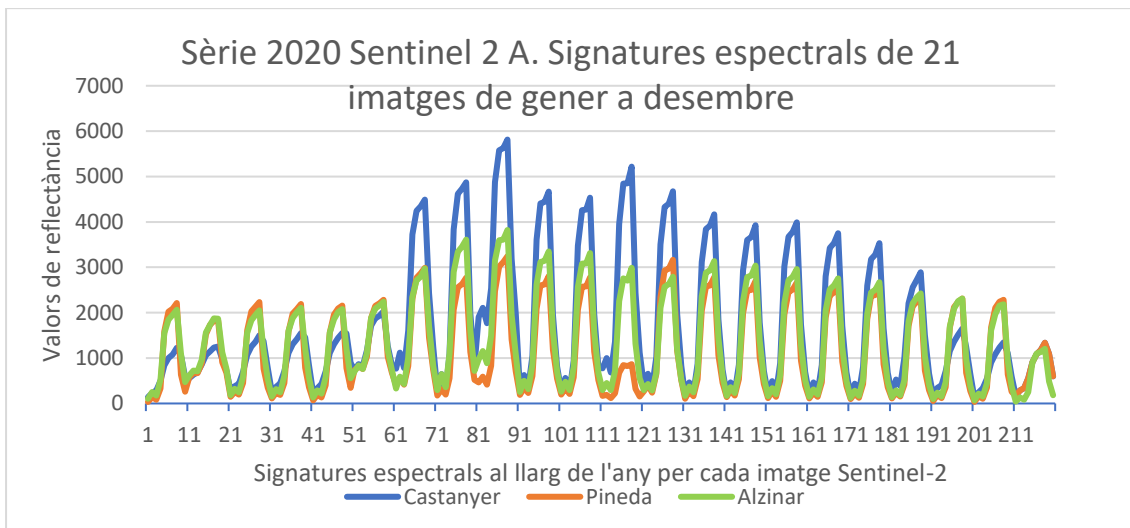


Figura 5-12: : Sèrie temporal Sentinel-2A de les signatures espectrals del *Castanea Sativa* per l'any 2020

La confecció d'aquestes primeres sèries temporals mostren el cicle dinàmic de la vegetació amb respostes diverses segons el tipus. L'anàlisi detallat d'un nombre elevat d'imatges al llarg de l'any ens ha d'ajudar a trobar els moments dels canvis fenològics com els canvis graduals a llarg termini. Aquesta anàlisi ha de millorar i superar ràpidament les classificacions multitemporals clàssiques basades en poques imatges en èpoques diferents que no podien detectar tota la variació anual de la vegetació (Kuenzer et al., n.d.).

5.4 Anàlisi del comportament de sèries temporals

5.4.1 Sèries temporals en l'estudi dels boscos

Des de fa anys, l'estudi de les sèries temporals denses amb imatges òptiques i multispectrals de satèl·lit tenen un llarg recorregut i els treballs es multipliquen a mida que apareixen nous programes de satèl·lit que milloren tant la resolució espacial, espectral com temporal. No és estrany aquest augment de treballs associat a la factibilitat en l'accés a imatges satèl·lit, ja que des dels primers estudis s'ha considerat un bon indicador *proxy*, o una mesura indirecta dels canvis de coberta terrestre sempre i quan es disposi de suficients i bones imatges per l'objecte d'estudi a detectar. En un

espai terrestre cada vegada més antropitzat amb molts canvis derivats de l'activat econòmica, però també pels canvis meteorològics i climàtics obtenir mesures extrapolables en un context geogràfic ampli esdevé un camp d'anàlisi molt interessant. Un dels camps on està portant més resultats destacats és en l'estudi de la vegetació, ja que l'anàlisi de les sèries temporals quan més denses són més poden detectar el canvi de la vegetació al llarg de l'any i dels anys.

L'estudi de les sèries es pot realitzar per diferents aproximacions, molts estudis inicials es basaven en les diferències de les dades radiomètriques de les imatges, amb la introducció de correccions atmosfèriques per obtenir el millors valors de reflectància, els valors a comparar milloren per reduir errors impropis al canvi del senyal no relacionats amb la coberta terrestre. En concret, en estudis de la vegetació han tingut un llarg recorregut els índexs de vegetació, com a dades derivades dels valors de reflectància. De fet, un índex de vegetació recull la informació, de dues o més bandes de la signatura espectral en un sol valor, i si aquest valor és significatiu per l'objecte d'estudi redueix enormement el volum de dades i càlcul de la sèrie temporal. Així per exemple, per a les imatges Sentinel-2 amb 10 bandes per el nivel L2A que estem usant, quan es calcula un índex de vegetació es redueix a un sol valor per cada píxel, amb la conseqüent reducció en un factor 10, respecte el volum de la imatge.

Un dels programaris més coneguts per agilitar el càlcul de les sèries temporals amb índexs de vegetació i obtenir resultats ha estat TIMESAT (Eklundh & Jönsson, 2017). El programa permet estudiar la dinàmica de la vegetació en diferents estacions de l'any i en diferents anys. Els autors consideren que determinar exactament les estacions fenològiques de la vegetació al llarg de l'any de la sèrie temporal permetrà després fer estudis dels canvis dels usos del sòl i climàtics i a llarg termini l'estudi de les tendències. En la Figura 5-13 es recull un dels esquemes més repetits en l'estudi de les sèries temporals en la vegetació extreta del manual del TIMESAT.

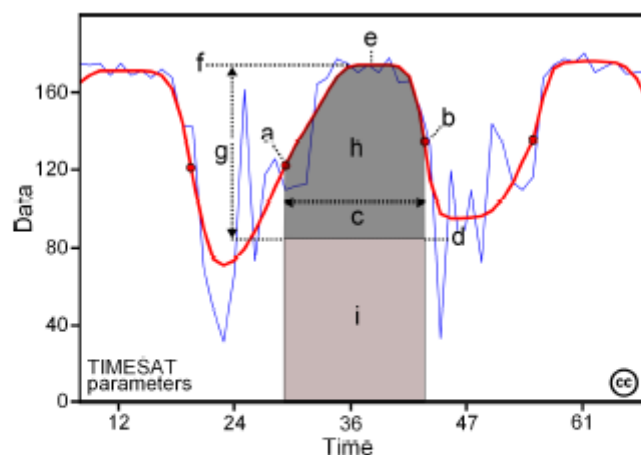


Figure 16: *Figure 1. Some of the seasonality parameters generated in TIMESAT: (a) beginning of season, (b) end of season, (c) length of season, (d) base value, (e) time of middle of season, (f) maximum value, (g) amplitude, (h) small integrated value, (h+i) large integrated value. This figure is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 2.5 Sweden License. It is free to copy and use in other work.*

Figura 5-13: Esquema d'una sèrie temporal de la vegetació presentada en el programari TIMESAT (Eklundh & Jönsson, 2017)

La figura mostra com, si es suavitzen els valors originals d'índex de vegetació obtinguts per tota la sèrie d'imatges, es poden extreure diferents paràmetres estacionals com el moment de l'inici i final d'estació, el nivell mínim com a base entre estació i estació, el percentatge d'increment i decreixement de l'estació, entre altres paràmetres relacionats.

En la nostra àrea del Montseny, com hem vist en el capítol 2.3 es troba marcada per quatre estacions on els hiverns són freds, però no gèlids i els estius molt calorosos i més secs, veurem com es manifesten aquests cicles estacionals en les masses arbrades de les sèries temporals pels quatre anys d'estudi, des del 2017 al 2020 que s'han realitzat amb el Sentinel-2 L2A.

5.4.2 Sèries temporals amb els valors de reflectància

Pels quatre anys d'estudi a partir de dades de satèl·lit, s'han recollit finalment 129 imatges sense cobertura global de núvols. Per a l'any 2017 són 12 imatges, pel l'any

2018 són 30, per l'any 2019 són 45 i per l'any 2020 són 42. Això implica que cada rodal estudiat pot tenir com a màxim 129 imatges. Com es veurà més endavant això no és possible en una àmplia majoria de casos ja que com hem descrit en l'apartat 4.2.4, en el massís del Montseny i encara més en aquesta zona mitjana de la muntanya, les pluges, les boires i les boirines són freqüents al llarg de l'any, fins i tot a la primavera i l'estiu (Figura 5-14). Això implica que cada rodal pot tenir dades espectrals dolentes que quedaran excloses del rodal concret a analitzar, reduint el nombre d'imatges.



Figura 5-14 Rodal 19:Sureda nord. Boira dins la sureda, fenomen comú en els vessants sud-est del Montseny a la primavera i estiu i que evita en bona mesura l'evapotranspiració de les boscos

Per analitzar les dades espectrals s'ha generat una representació gràfica de cada any de totes les signatures espectrals de quatre rodals principals amb quatre espècies clarament dominants segons els treballs de camp de l'any 2021 per analitzar el seu comportament. Són el rodal 19 amb l'alzina surera o *Quercus suber*, el rodal 4 amb l'alzina o *Quercus ilex*, el rodal 7 amb el pi insigne o *Pinus radiata* i el rodal 6 amb el castanyer o *Castanea sativa*.

L'any 2017 ha estat exclòs inicialment d'aquesta comparació anual del comportament dels boscos per ser una sèrie molt incompleta. No obstant, s'han fet tots els càlculs estadístics i representacions gràfiques per tenir-los com referència comparativa per a 4 anys en alguns casos d'estudi.

El primer pas ha estat seleccionar les imatges de cada any segons el seus valors de reflectància. Per realitzar una selecció ràpida s'ha representat la matriu de dades amb colors segons els seus valors mínims (vermells) i màxims (blaus). Quan els valors eren fora dels rangs comuns de cada banda s'ha esborrat tota la imatge i queda exclosa del conjunt per evitar la seva influència en valors ponderats posteriors. En la Taula 5-5 es mostra l'aspecte de la matriu del rodal 4 amb un bosc d'alzinar per l'any 2019. Les files en blanc són les imatges que s'han esborrat per tenir valors de reflectància incoherents amb la vegetació i en comparació a les imatges immediatament anteriors i posteriors.

Taula 5-5: Matriu de valors de reflectància per a totes les imatges del 2019 del rodal 4 *Quercus ilex*

Dates\Bandes	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
20190108	157.1524	253.739	189.9515	457.3002	1485.871	1828.661	1982.455	2028.162	966.4711	445.9838
20190207	452.5797	542.1409	478.7991	741.6628	1615.432	1901.926	2012.506	2062.425	1036.058	581.9954
20190212	98.62587	244.7852	171.1386	478.5404	1549.261	1878.367	2086.164	2087.878	997.8984	422.1594
20190217	129.4157	246.4388	168.2725	469.3025	1574.841	1922.677	2142.012	2135.94	1035.57	447.0462
20190222	99.80831	243.7206	173.6767	495.0531	1581.751	1918.499	2120.436	2134.714	1066.157	449.3603
20190227	130.3048	251.3279	171.9746	478.6236	1605.136	1959.296	2184.217	2174.443	1097.933	471.4226
20190304	142.7529	307.6582	244.7483	589.8083	1688.506	2019.478	2178.596	2230.067	1174.499	547.1386
20190309	161.8314	288.358	200.5497	529.6975	1636.707	1993.647	2115.924	2199.129	1119.603	510.94
20190314	116.0046	258.1732	179.3441	540.6859	1660.43	1997.628	2141.656	2227.55	1101.566	466.6721
20190324	136.7275	292.7945	204.4203	586.2633	1728.365	2071.866	2207.908	2290.316	1198.155	509.7691
20190329	182.5612	310.2794	212.4249	595.4226	1791.171	2155.887	2329.751	2377.159	1204.737	537.5635
20190413	141.6236	318.8152	205.8199	657.0831	1895.681	2232.875	2409.256	2456.725	1254.485	530.642
20190513	214.0878	426.3441	277.1686	787.3326	2187.323	2562.256	2718.783	2800.037	1455.079	637.2102
20190523	233.9538	450.7298	294.7806	816.1224	2183.381	2559.813	2680.42	2804.824	1488.284	644.6374
20190602	230.8614	467.8915	305.0069	857.6097	2238.522	2621.831	2719.626	2876.695	1543.434	680.9446
20190617	281.8476	518.9561	338.7321	874.0577	2295.785	2713.307	2825.406	2964.236	1574.065	713.0393
20190702	270.903	510.2402	371.254	934.358	2320.252	2744.665	2779.072	3039.016	1684.836	738.8083
20190707	533.1247	718.0393	551.7575	1054.515	2509.427	3001.663	3042.388	3257.949	1767.439	847.6051
20190712	251.6513	473.1848	310.2448	850.06	2306.402	2721.693	2751.54	2982.543	1590.478	681.6005
20190722	223.836	463.9284	325.0947	840.3649	2278.956	2699.855	2738.723	2971.804	1602.298	695.7991
20190801	392.1917	615.0046	449.1963	989.5774	2497.037	2932.924	3004.363	3193.115	1710.536	784.1178
20190806	253.4503	436.2055	300.1132	755.2356	2127.256	2562.753	2599.335	2790.21	1514.416	675.6028
20190811	235.2725	455.1455	319.4134	811	2147.704	2531.54	2556.497	2795.674	1504.665	653.1732
20190816	259.3072	422.0346	262.8915	727.5473	2095.099	2510.714	2566.961	2740.67	1411.926	618.2771
20190821	140.2217	354.4596	221.8129	704.0693	2044.15	2424.266	2518.134	2674.686	1406.062	587.6351
20190826	159.9261	349.6351	219.1778	667.5543	1997.875	2401.249	2510.24	2631.674	1426.848	614.1663
20190831	315.1201	470.2956	316.2032	772.9192	2039.952	2412.173	2443.776	2654.49	1426.73	596.7667
20190915	219.0115	408.612	294.9307	692.5797	1918.568	2317.173	2342.182	2513.928	1347.025	621.7552
20190920	213.2887	393.3233	261.5196	708.7344	1988.249	2365.767	2394.284	2629.321	1405.891	599.7806
20190930	153.9607	329.5381	218.8568	625.1501	1858.212	2219.321	2296.594	2453.919	1302.118	545.8938
20191005	722.0069	856.5035	684.6236	1149.136	2593.443	3090.633	3167.919	3354.076	1803.744	968.7044
20191015	162.2286	303.5935	199.2125	553.5196	1729.829	2102.328	2254.695	2320.617	1208.494	521.1132
20191025	146.9677	279.0115	186.7206	521.1201	1620.293	1960.032	2112.804	2167.43	1149.374	502.2841
20191030	141.4157	304.8868	212.9861	556.5681	1598.085	1895.259	1965.404	2097.039	1132.185	498.9515
20191104	699.6328	856.4434	645.7529	1081.222	2564.436	3009.358	3333.737	3282.637	1790.139	891.3418
20191109	101.4388	260.9561	182.6582	538.4111	1630.596	1944.148	2122.259	2171.799	1112.822	474.7182
20191119	148.8245	283.157	204.8522	554.7252	1577.339	1871.055	2045.566	2097.173	1070.238	462.5843
20191124	135.8545	265.9446	183.4296	529.3002	1580.164	1902.76	2073.702	2117.861	1072.896	467.4111
20191209	130.03	279.1778	204.9261	544.0554	1527.707	1808.547	1973.169	2035.007	1058.533	455.2402
20191219	170.6651	319.4711	240.0023	597.4711	1633.822	1931.062	2046.658	2165.095	1134.196	504.1547
20191224	439.1316	613.0139	509.7044	958.6097	2356.388	2803.702	3030.307	3108.062	1736.386	911.0808
mitjana	232.4293	396.3906	285.223	699.3261	1933.156	2304.943	2427.449	2538.929	1333.763	597.929
desv. Esta	146.1073	154.6506	127.064	181.8912	331.7652	379.4963	361.1247	401.6777	248.4537	135.7011

Un cop refinades les matrius de cada any per al rodal 4 es pot veure clarament que les bandes 5, 6, 7 i 8 que corresponen el *red edge* i l'infraroig proper tenen els valors més alts en tot l'any. La representació gràfica dels valors de reflectància es tradueixen en

corbes espectrals que caracteritzen a l'alzinar durant l'any segons la seva resposta. En la Figura 5-15 es recullen les corbes per als tres anys. Cada corba espectral pertany a una imatge. Les imatges que han estat esborrades de la sèrie concreta queden buides.



Figura 5-15: Signatures espectrals del rodal 4 Quercus Ilex i la seva mitjana anual per als anys 2018, 2019 i 2020

Les corbes espectrals de cada any s'han representat en una gradació que va del color verd fosc a color verd clar per veure com es distribuïa la resposta espectral per a cada imatge respecte tot l'any. Si ens hi fixem, les corbes inicials de l'any més fosques

queden per sota i solen tenir reflectàncies baixes, i a mida que avança l'any les corbes augmenten de valor de reflectància situant-se a la primavera i estiu per davallar a la tardor i hivern fins a finals d'any, que corresponen a les corbes de color verd clar. En tots els casos els valors màxims oscil·len entre 3000 i 3500 valors de reflectància del Sentinel-2 L2A, que passat a percentatge representen entre el 30 i 35% de reflectància per a les bandes 6, 7 i 8. Aquestes mateixes bandes en les dates de l'hivern poden reduir els seus valors mínims a 1500 o 2000. Aquestes variacions al llarg de l'any no es veuen reflectides en la mitjana anual. Però malgrat la mitjana anual no mostri una variabilitat temporal sí que permet observar que les tres mitjanes anuals dels mateix rodal són molt similars no superant el 25% de reflectància. Aquest comportament gairebé idèntic demostra que la massa forestal és la mateixa i no ha canviat en tres anys i que el senyal Sentinel-2 L2A és prou estable en el conjunt dels tres anys per poder-ho mesurar.

A continuació es mostren els resultats pels tres rodals seleccionats. El rodal 19 és una sureda amb *Quercus suber* com a arbre dominant. De fet, el gener del 2018 es va efectuar una neteja de sotabosc i es varen treure peus menors d'alzina i arboç per deixar una massa dedicada a la sureda. Les signatures espectrals es mostren en la Figura 5-16.

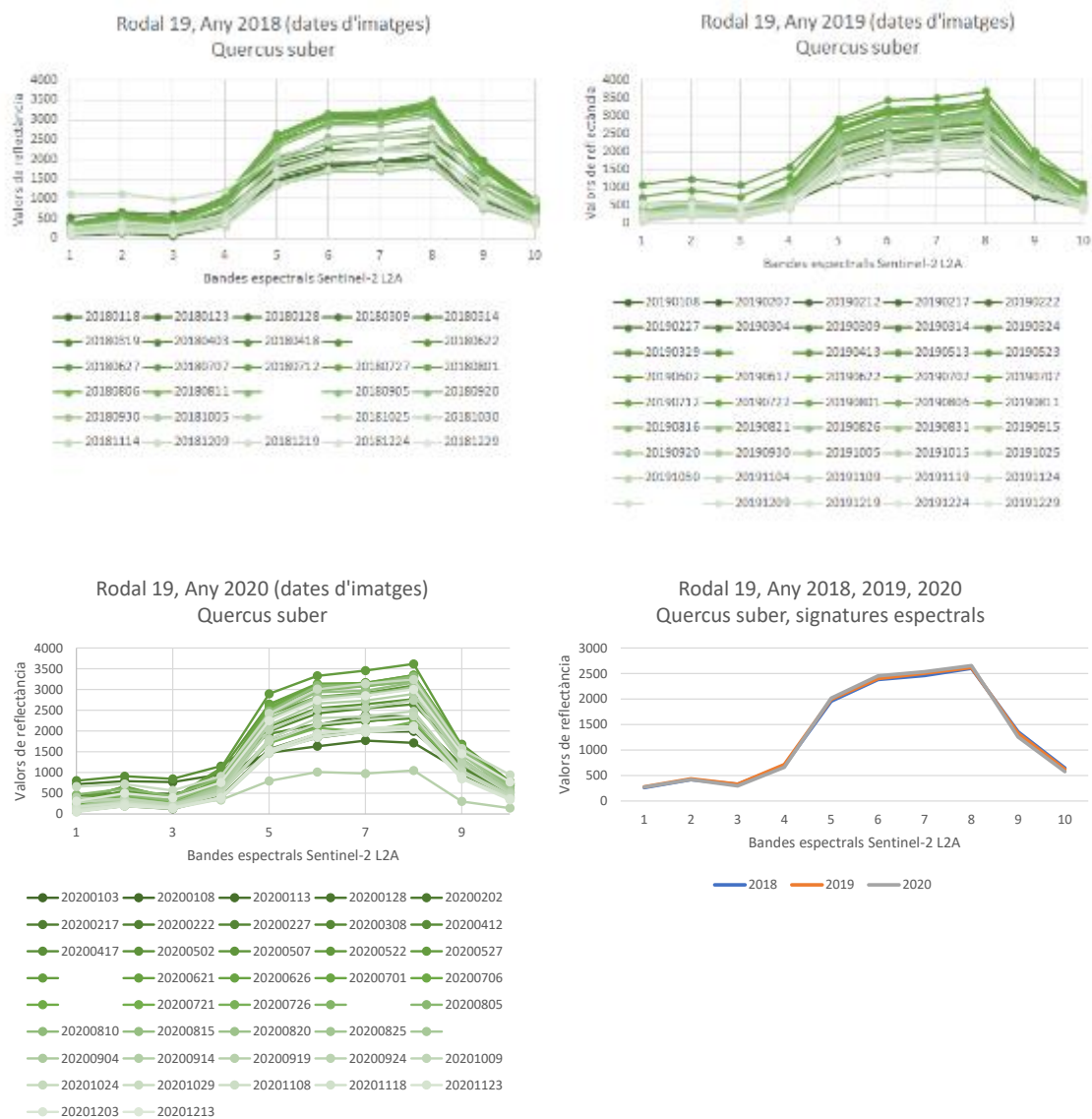


Figura 5-16: Signatures espectrals del rodal 19 *Quercus suber* i la seva mitjana anual per als anys 2018, 2019 i 2020

Les gràfiques de les corbes espectrals dels tres anys s'assemblen molt a les corbes espectrals de l'alzinar del rodal 4. Tot i així es mostra una certa disminució de valors de reflectància en les mitjanes anuals respecte a l'alzinar, no arribant al 25%.

S'ha fet el mateix exercici pel rodal 7 com rodal principal de *Pinus radiata* (Figura 5-17). Els valors de les corbes espectrals i les mitjanes anuals segueixen essent molt iguals, especialment a l'alzinar.

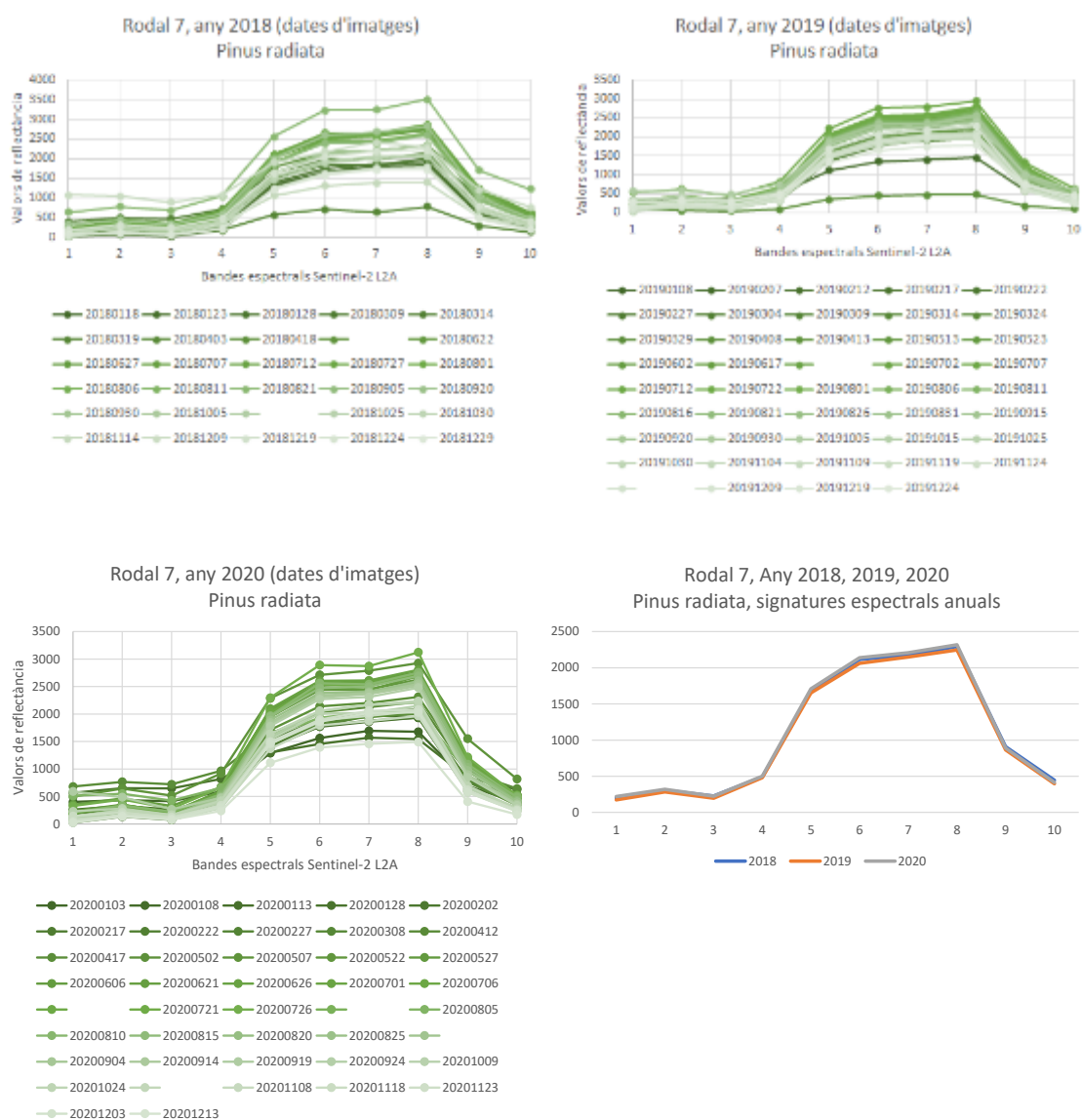


Figura 5-17: Signatures espectrals del rodal 7 Pinus radiata i la seva mitjana anual per als anys 2018, 2019 i 2020

El rodal 6 és una baga de castanyers, per tant, la coberta arbòria dominant és d'arbres caducifolis. És interessant veure la matriu de dades numèriques. Per exemple per l'any 2019 amb els valors de reflectància escalats per colors on els mínims són en tons vermells i els màxims en tons blaus, es pot observar com els mesos de tardor i hivern tots els valors de reflectància baixen dràsticament (Taula 5-6).

Taula 5-6. Matriu de valors de reflectància per a totes les imatges del 2019 del rodal 6 *Castanea Sativa*

Dates\bandes	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
20190108	240.2102	323.2365	403.0664	627.6376	995.2946	1185.257	1344.49	1432.365	1358.87	810.1812
20190207	211.4039	295.5934	379.6266	583.509	901.0415	1062.793	1190.882	1277.055	1171.968	716.9378
20190212	192.668	316.0512	405.7538	648.1411	1051.747	1242.661	1445.698	1509.118	1448.398	817.6349
20190217	218.6777	312.953	401.2822	639.9889	1041.155	1231.286	1435.588	1491.586	1495.952	885.9848
20190222	207.9945	323.444	422.3679	678.2849	1084.934	1276.663	1461.737	1540.786	1541.011	874.0304
20190227	228.7289	326.1148	420.4467	666.8326	1079.239	1273.704	1478.335	1537.539	1582.604	937.5284
20190304	243.6584	380.8645	491.5505	771.0913	1199.083	1400.307	1572.285	1670.946	1628.752	943.0816
20190309	261.2932	364.5934	461.1328	734.9156	1150.562	1356.833	1507.882	1626.891	1617.618	976.7386
20190314	227.899	349.2835	467.2822	766.6266	1207.026	1416.293	1584.703	1706.918	1613.568	927.4827
20190324	252.9848	386.5463	491.0775	797.8548	1244.26	1446.426	1605.466	1725.292	1778.329	1034.761
20190329	298.8797	408.0719	517.6141	834.0858	1307.238	1530.039	1726.653	1818.758	1843.053	1120.437
20190408	697.4039	809.6929	908.8257	1261.754	1799.701	2049.172	2216.437	2350.238	2150.18	1359.483
20190413	286.9848	432.1826	531.473	891.8824	1398.899	1619.479	1807.196	1922.438	1882.343	1103.898
20190513	328.1535	577.5615	478.5906	1054.014	1978.16	2242.336	2434.389	2526.163	1902.123	1042.127
20190523	260.7676	596.3513	336.3389	1086.472	2436.88	2748.515	2906.115	3008.553	1790.744	871.9585
20190602	204.7746	579.4136	230.5615	1042.231	3179.077	3693.593	3823.414	3943.552	1884.344	838.2808
20190617	250.1784	550.1259	235.7967	927.0111	3354.801	4172.263	4328.672	4421.765	1819.953	781.8921
20190622	529.4758	832.1715	528.2517	1254.549	3860.18	4732.213	4861.881	5017.367	2112.642	1015.748
20190702	255.7358	541.0263	292.5768	932.5781	3497.354	4413.805	4468.79	4740.828	1962.037	820.4205
20190707	725.4136	900.8354	690.0733	1210.599	3400.704	4328.853	4319.062	4596.643	2037.985	996.888
20190712	255.6625	497.6058	274.1936	845.4108	3280.048	4173.531	4228.093	4493.065	1853.848	748.7524
20190722	223.6999	482.9959	284.3181	823.6418	3186.786	4079.189	4160.805	4388.09	1850.711	770.3098
20190801	201.9198	440.3154	237.314	764.0332	3118.124	3997.669	4088.026	4305.899	1786.906	724.9654
20190806	242.888	444.1452	242.0899	735.1563	3006.828	3957.029	4027.633	4233.809	1775.335	732.1618
20190811	213.8396	455.2379	253.6957	776.3914	3007.917	3845.433	3886.62	4159.642	1750.075	711.4481
20190816	442.5353	626.6916	348.5629	897.5615	3452.923	4536.214	4627.169	4838.346	1903.219	848.2407
20190821	137.7054	383.7911	178.8465	713.639	3014.275	3866.568	4022.284	4180.947	1695.799	669.7842
20190826	158.574	380.3527	176.4606	675.0069	2884.733	3785.445	3958.332	4080.065	1667.777	674.2324
20190831	1291.068	1396.318	1212.545	1705.654	3275.598	3855.176	3891.315	4110.087	2345.765	1348.021
20190915	241.4772	471.3914	291.0373	770.971	2663.086	3436.777	3483.378	3698.849	1600.949	708.6266
20190920	345.6515	553.2863	327.3306	866.3762	2836.05	3539.451	3587.342	3887.506	1641.325	678.9184
20190930	165.4371	390.5463	213.1411	699.4467	2464.136	3073.062	3281.433	3349.115	1423.035	584.1286
20191005	1469.876	1471.199	1424.455	1617.084	1936.053	2116.347	1947.189	2165.131	1544.82	1489.697
20191015	180.0968	403.0456	219.0954	733.5297	2572.571	3251.687	3503.838	3591.501	1486.022	633.5367
20191025	163.2503	399.7026	213.9239	752.8755	2455.889	3023.176	3272.423	3355.632	1442.447	611.8755
20191030	265.2669	541.3389	369.6763	959.5505	2433.917	2860.444	2974.884	3165.418	1484.598	676.758
20191104	404.1466	521.3306	390.5214	702.2448	1438.379	1651.302	1792.194	1760.942	819.7178	462.426
20191109	140.3444	460.816	274.3015	963.0304	2409.165	2805.34	3088.166	3162.568	1479.259	632.5519
20191119	198.5878	542.1342	371.0885	1104.227	2064.474	2331.115	2567.697	2654.553	1293.322	594.455
20191124	201.8575	693.2614	589.4716	1407.824	2064.071	2319.259	2593.692	2682.272	1450.615	694.6459
20191209	195.6556	311.8976	405.1646	677.6929	1104.147	1319.891	1519.593	1642.411	1366.913	730.61
20191219	154.2918	196.6598	225.2019	345.0844	508.7497	592.2835	639.9959	706.9889	576.1466	346.112
20191224	373.3721	480.5505	590.8893	907.6999	1422.607	1687.4	1916.456	2053.596	1823.741	1087.755
20191229	1330.567	1304.342	1325.391	1464.332	1570.058	1614.582	1715.001	1707.604	1821.13	1651.575
Mitjana	343.6604	533.0698	443.9183	893.6028	2166.771	2639.565	2779.392	2914.519	1647.863	856.5246
desv estd	302.947	273.0781	278.7602	276.5463	917.2223	1205.234	1179.475	1229.679	316.2738	255.6508

Tant sols els mesos de primavera quan apareix la fulla i a l'estiu amb tot el fullatge desplegat els valors de reflectància puguen de forma mot significativa (colors blaus fosc).

Si observem el mateix efecte per la representació espectral per bandes es veu clarament aquest efecte de pèrdua de valors de reflectància als períodes de senescència i hivernal (Figura 5-18).

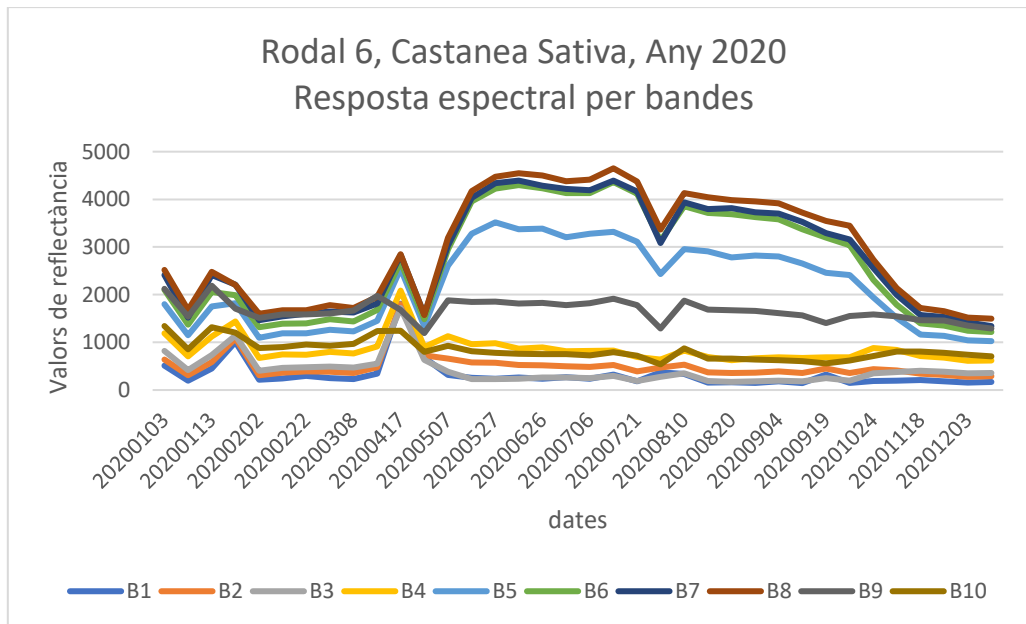


Figura 5-18: Representació anual de les bandes Sentinel-2 pel rodal 6 Castanea sativa

Si observem les mateixes dades pels tres anys representades en les corbes espectrals es comprova que els valors de reflectància més alts, especialment amb les bandes 5, 6, 7 i 8 amb valors de reflectància Sentinel-2 L2A de 4000 a 5000, suposen entre 40 i 50% de reflectància (Figura 5-18)

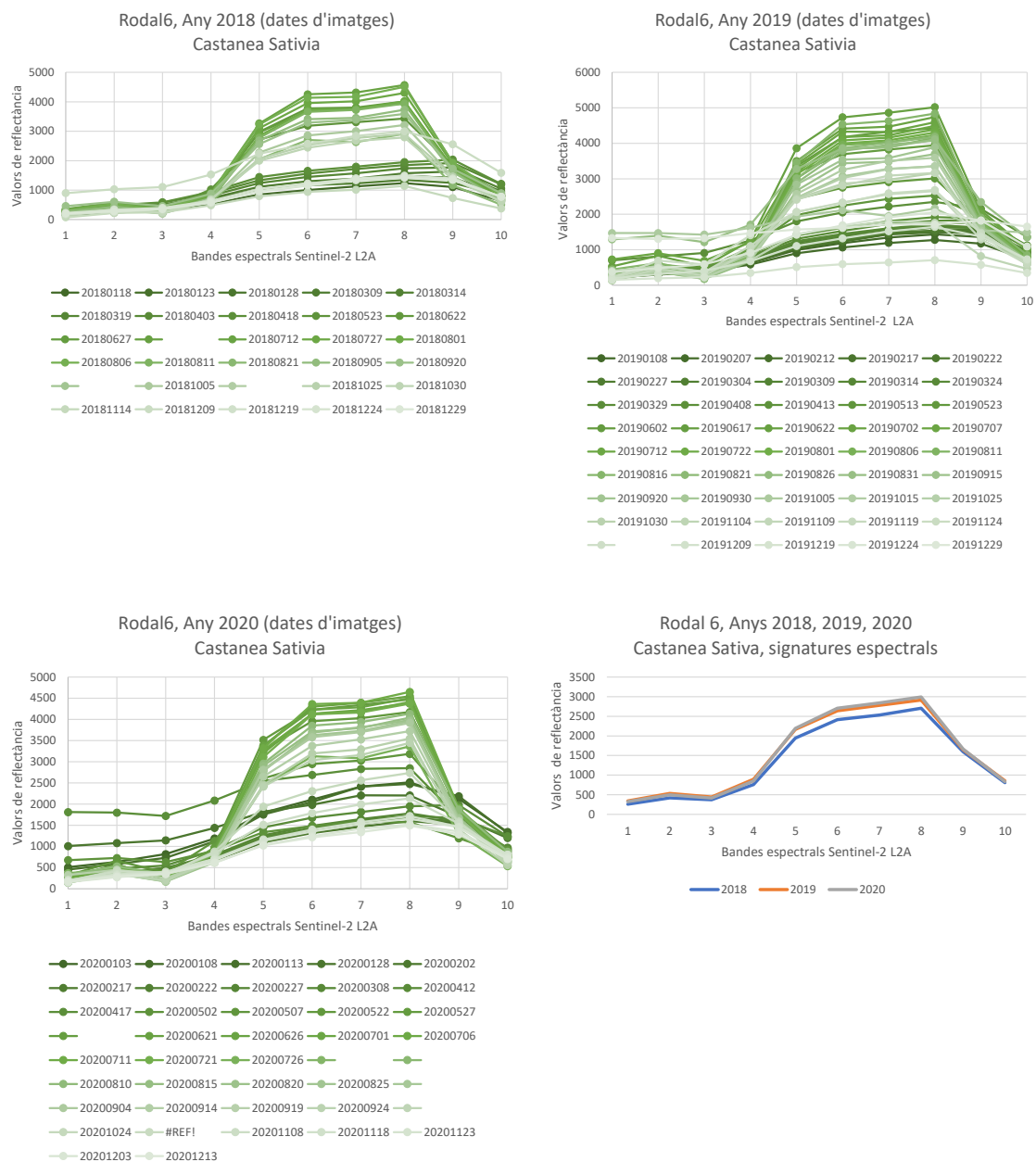


Figura 5-19. Signatures espectrals del rodal 6 *Castanea Sativa* i la seva mitjana anual per als anys 2018, 2019 i 2020

Tot i que s'ha observat en la matriu de dades i en la distribució de les corbes al llarg de l'any que els valors de reflectància es distribueixen diferent en els boscos perennifolis, quan es fa la mitjana anual s'observa que les signatures espectrals mitjanes s'assemblen força a la resta de masses boscoses estudiades. Així, per exemple, les mitjanes anuals també tenen uns valors màxims que no superen el 30% de reflectància.

5.4.3 Sèries temporals amb índexs de vegetació

En l'estudi de sèries temporals llargues i amb moltes imatges per estudiar la vegetació, és molt habitual reduir el volum de dades usant els índexs de vegetació. Són mesures adimensionals derivades de les combinacions matemàtiques de les bandes espectrals que recullen més informació de les plantes. Amb aquests índexs es vol destacar les característiques de la vegetació i minimitzar les confusions que puguin donar els valors del sòl, els efectes direccionals i atmosfèrics. Segons l'objectiu de l'estudi s'usen diferents índexs de vegetació.

El més àmpliament usat des dels inicis, aproximadament els anys 70 del segle passat, es l'Índex de Diferència Normalitzada de Vegetació o més conegut en la traducció en anglès com *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Es basa en la comparació espectral entre la banda infraroja i la vermella donat un indicador adimensional entre -1 i 1, on la bibliografia especialitzada considera que els valors entre 0.2 i 0.8 indiquen la presència de vegetació de menys a més vigorosa, tot i que geogràficament i segons quines imatges aquestes llinars poden canviar relativament.

Al llarg del temps i segons l'objecte de treball també han estat àmpliament usats altres índexs. Donada que la llista podria ser molt àmplia ens hem focalitzat en uns quants índexs molt estesos en estudis de vegetació i que per a les dades Sentinel-2 i per l'estudi de les masses boscoses que ens ocupa hem determinat com els més rellevants. Alguns d'aquest índexs similars al càlcul de l'NDVI són el *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDR) que substitueix la banda vermella per la verda que recull millor els canvis en la clorofil·la de la vegetació. Altres que també usen la diferència normalitzada de dues bandes però que tenen objectius diferents són el *Normalized Burned Ratio Index* (NBR) per estudiar la severitat de les zones de vegetació cremades i la seva evolució en la recuperació o el *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI) que estudia els canvis en la humitat de la vegetació o del sòl. Si les imatges tenen bandes diferenciades entre les zones espectrals del vermell i l'infraroig proper, el que s'anomena llinar del vermell o *red edge*, també es calculen índexs de vegetació normalitzats amb el vermell per observar l'augment del pendent a mida que la vegetació és més vigorosa. Tots aquestes índexs expressen el seu resultat en un indicador adimensional entre -1 i 1. Lleugerament diferent als fins ara descrits, en els darrers anys

amplament usat és l'Índex de Vegetació Millorat o més conegut en anglès com *Enhanced Vegetation Index* (EVI), aquest és una variant de l'índex NDVI que introdueix en la diferència normalitzada una tercera banda, la banda del blau per ajudar a aïllar els efectes radiomètrics dels sòls i suavitzar els efectes atmosfèrics que puguin seguir afectant al senyal i evitar-ne la saturació del valor. La mesura es troba entre 0 i 1 però no és exacte i pot tenir alguns valors per sota o per sobre. Els valors de vegetació oscil·len aproximadament entre 0.2 i 0.8 amb un rang dinàmic més ampli en les zones de canvi. Per últim destacar l'índex del quocient entre el vermell i l'infraroig, *Relative Vigor Index* (RVI) que tot i ser molt senzill, presenta un rang de valors que pot ser molt ampli i pot resultar més difícil d'interpretar quan es té una gran volum de dades.

En la Taula 5-7 es mostra els índexs més àmpliament usats que es poden calcular tant amb imatges Landsat 8 com Sentinel-2. En aquest treball finalment s'han aplicat exclusivament amb les imatges Sentinel-2. En alguns casos la bibliografia és contradictòria i algunes bandes d'algun índex poden ser diferents. Per exemple, l'índex NBR és usat principalment per la banda infraroig 1 centrada aproximadament als 842 nm però hi ha treballs que usen el Infraroig 2 centrat als 865 nm en benefici de tenir una resolució espacial de 20 metres per a les dues bandes i obtenir resultats molt similars (Filipponi, 2018). S'han fet algunes proves per veure la seva sensibilitat per cada massa boscosa estudiada i buscar les seves possibles diferències.

Taula 5-7: Relació comparativa entre els índex de vegetació i les bandes espectrals Landsat 8 i Sentinel-2

Landsat 8		Zona de l'espectre	Sentinel-2				Índexs de vegetació					
Centre espectral (nm)	Nº banda (30 m)		Nº banda L2A (10m)	banda original	Mida pixel original	Centre espectral (nm)	NDVI	EVI	GNVI	RVI	NDMI	NRB
443	1	Ultraviolat		1								
482	2	Blau (blue)	1	2	10	490						
561.5	3	Verd (Red)	2	3	10	560						
654.5	4	Vermell (red)	3	4	10	665						
		Red edge 1 (RE1)	4	5	20	705						
		Red edge 2 (RE2)	5	6	20	740						
		Red edge 3 (RE3)	6	7	20	783						
865	5	Infraroig proper 1 (NIR1)	7	8	10	842						
		Infraroig proper 2 (NIR2)	8	8a	20	865						
				9 i 10								
1608.5	6	Infraroig ona curta 1 (SWIR1)	9	11	20	1610						
2200.5	7	Infraroig ona curta 2 (SWIR2)	10	12	20	2190						

Els 6 índexs escollits han estat calculats segons les fórmules de la Taula 5-8. També s’han inclòs els noms en anglès, català i els seus acrònims.

Taula 5-8: Fórmules dels índexs de vegetació aplicades a les imatges Sentinel-2 L2A

Acrònim	Anglès /Català	Fórmula
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$
	Índex de Vegetació de Diferència Normalitzada	$NDVI = (B7 - B3) / (B7 + B3)$
EVI	Enhanced Vegetation Index	$EVI = G * ((NIR - Red) / (NIR + C1 * Red - C2 * B + L))$
	Índex de Vegetació Millorat	$EVI = 2.5 * ((B7 - B3) / (B7 + 6 * B3 - 7.5 * B1 + 1))$
GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index	$GNDVI = (NIR - GREEN) / (NIR + GREEN)$
	Índex de Vegetació de Diferència Normalitzada en el Verd	$GNDVI = (B7 - B2) / (B7 + B2)$
NDMI	Normalized Difference Moisture Index	$NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$
	Índex d’Humitat de Diferència Normalitzada	$NDMI = (B8 - B9) / (B8 + B9)$
NRB	Normalized Burned Ratio	$NRB = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$
	Quocient de cremat normalitzat	$NRB = (B7 - B10) / (B7 + B10)$
RVI	Ratio Vegetation Index	$RVI = (NIR / RED)$
	Índex del quocient de Vegetació	$RVI = (B7 / B3)$

Considerant que el Sentinel-2 ofereix noves bandes en el *red edge* s’han elaborat alguns índexs de vegetació per tal de comprovar si els seus resultats són més precisos, o sensibles, que la resta d’índexs de vegetació citats anteriorment. En la Taula 5-9 es mostren les fórmules i l’acrònim que hem nomenat per diferenciar-los. En la bibliografia específica es parla d’aquests índexs o similars amb noms i acrònims de molts tipus, així que hem decidit uns acrònims propis per aquest treball. Els índexs normalitzats dels quocients de les bandes del *red edge* es podria fer per a totes tres, però on apareixen els canvis més importants són en el *red edge* 1 i 2. Hem aplicat aquests índexs amb aquestes dues bandes i la banda vermella.

Taula 5-9. Índexs de vegetació derivats de les bandes del red edge del Sentinel-2

Acrònim	Diferents índexs normalitzats bandes RED EDGE	Fórmula
REEDG1	Quocient entre la primera banda del red edge i el vermell	$REEDG1 = RE1 / Red$ $REEDG1 = B4 / B3$
RE1NDVI	Índex normalitzat entre la primera banda del rededge i el vermell	$RE1NDVI = (RE1 - Red) / (RE1 + Red)$ $RE1NDVI = (B4 - B3) / (B4 + B3)$
NDRE1	Índex normalitzat de les dues primeres bandes de red edge	$NDRE1 = (RE2 - RE1) / (RE2 + RE1)$ $NDRE1 = (B5 - B4) / (B5 + B4)$
RE2NDVI	Índex normalitzat entre la segona banda del rededge i el vermell	$RE2NDVI = (RE2 - Red) / (RE2 + Red)$ $RE2NDVI = (B5 - B3) / (B5 + B3)$

Aquests conjunt d’índexs s’ha aplicat per totes les imatges de cada any per les quatre parcel·les de test per comparar resultats. En la Taula 5-10 es poden comprovar els resultats per al rodal 19: Sureda Sud per totes les imatges de l’any 2020. En color

vermell es destaquen els valors més alts de cada índex, que són els que teòricament responen a una major reflectància de la coberta.

Taula 5-10: Càlculs dels índex de vegetació per al rodal 19: Sureda Sud (any 2020) per a les imatges Sentinel 2

Dates\índex	NDMI	NDVI	NBR	GNVI	RVI	EVI	REEDG1	RE1NDVI	NDRE1	RE2NDVI
20200103	0.327	0.608	0.519	0.596	4.101	0.197	1.449	0.183	0.370	0.518
20200108	0.401	0.884	0.682	0.827	16.303	0.967	3.252	0.530	0.590	0.853
20200113	0.379	0.740	0.626	0.694	6.703	0.363	1.734	0.268	0.481	0.664
20200128	0.254	0.394	0.416	0.383	2.302	0.083	1.243	0.108	0.213	0.314
20200202	0.371	0.870	0.663	0.806	14.364	0.845	2.976	0.497	0.571	0.832
20200217	0.352	0.795	0.637	0.733	8.734	0.491	2.177	0.371	0.514	0.743
20200222	0.338	0.787	0.614	0.724	8.369	0.468	2.057	0.346	0.506	0.725
20200227	0.339	0.814	0.628	0.765	9.777	0.557	2.390	0.410	0.522	0.768
20200308	0.334	0.844	0.635	0.796	11.838	0.687	2.698	0.459	0.536	0.799
20200412	0.292	0.791	0.578	0.720	8.588	0.482	2.243	0.383	0.500	0.741
20200417	0.327	0.452	0.495	0.423	2.648	0.105	1.361	0.153	0.252	0.390
20200502	0.285	0.796	0.572	0.721	8.819	0.497	2.455	0.421	0.482	0.751
20200507	0.297	0.761	0.576	0.679	7.353	0.404	2.370	0.407	0.437	0.716
20200522	0.349	0.783	0.619	0.658	8.232	0.460	2.708	0.461	0.435	0.746
20200527	0.376	0.803	0.654	0.678	9.153	0.518	2.928	0.491	0.447	0.769
20200621	0.350	0.832	0.638	0.716	10.884	0.628	2.785	0.472	0.527	0.800
20200626	0.343	0.818	0.631	0.720	9.989	0.571	2.708	0.461	0.511	0.787
20200701	0.336	0.825	0.623	0.729	10.415	0.598	2.561	0.438	0.535	0.788
20200706	0.341	0.826	0.638	0.726	10.485	0.602	2.733	0.464	0.526	0.796
20200721	0.362	0.862	0.648	0.776	13.535	0.795	3.054	0.507	0.561	0.831
20200726	0.384	0.747	0.637	0.642	6.892	0.374	2.038	0.342	0.490	0.712
20200805	0.363	0.752	0.642	0.671	7.056	0.385	1.992	0.332	0.477	0.698
20200810	0.356	0.811	0.638	0.736	9.599	0.546	2.325	0.399	0.533	0.769
20200815	0.359	0.851	0.656	0.777	12.424	0.725	2.938	0.492	0.546	0.818
20200820	0.359	0.864	0.655	0.785	13.661	0.803	2.879	0.484	0.573	0.828
20200825	0.362	0.845	0.658	0.768	11.866	0.689	2.799	0.474	0.549	0.811
20200904	0.387	0.862	0.683	0.780	13.450	0.789	2.940	0.492	0.568	0.829
20200914	0.383	0.862	0.677	0.792	13.441	0.789	2.833	0.478	0.577	0.827
20200919	0.552	0.611	0.746	0.487	4.140	0.199	1.428	0.176	0.407	0.544
20200924	0.387	0.870	0.679	0.800	14.373	0.847	2.928	0.491	0.591	0.838
20201009	0.404	0.817	0.681	0.728	9.919	0.566	2.160	0.367	0.558	0.768
20201024	0.406	0.841	0.700	0.771	11.606	0.672	2.468	0.423	0.567	0.799
20201029	0.346	0.693	0.539	0.627	5.522	0.288	1.593	0.229	0.456	0.620
20201108	0.406	0.874	0.693	0.812	14.838	0.875	2.686	0.457	0.608	0.833
20201118	0.406	0.851	0.691	0.774	12.421	0.723	2.440	0.419	0.584	0.806
20201123	0.404	0.871	0.700	0.807	14.514	0.855	2.781	0.471	0.591	0.831
20201203	0.415	0.876	0.709	0.827	15.071	0.889	2.864	0.482	0.596	0.838
20201213	0.348	0.759	0.575	0.702	7.312	0.401	1.949	0.322	0.495	0.705

Un dels efectes més clars i que s'ha observat en els rodals de l'alzinar però també dels pins i la sureda és que els valors dels índexs són més alts de forma general en els mesos de tardor i hivern malgrat que en els quatre rodals els valors de reflectància eren més alts en la primavera i estiu. Només en el cas del rodal de caducifolis el sentit és l'invers obtenint els valors més alts dels índexs de vegetació en les imatges on els valors de reflectàncies són més alts en l'infraroig i el vermell.

En les representacions gràfiques d'aquests índexs (Figura 5-20) es poden veure aquests efectes i d'alguns d'altres.

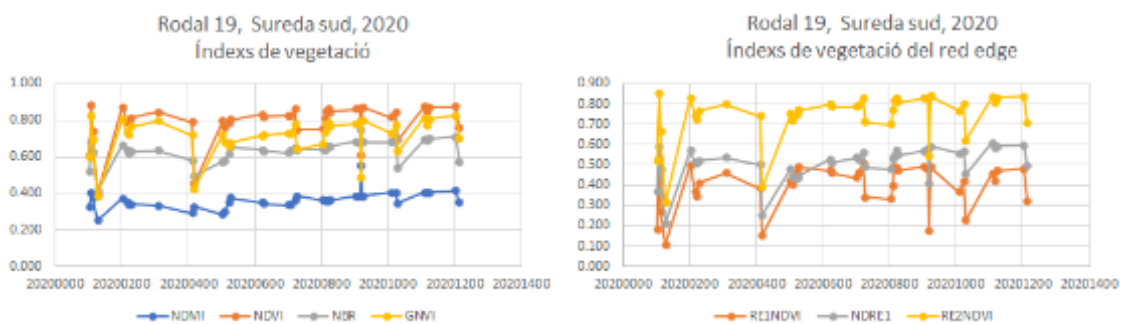


Figura 5-20: Corbes anuals dels índexs de vegetació calculats per al rodal 19 de *Quercus suber* (any 2020)

Aquests índexs normalitzats amb valors de -1 a 1 tenen corbes molt similars al llarg de l'any encara que el valors dels l'índex siguin molt diferents, fins i tot els índexs derivats del *red edge*. En la Figura 5-21 es mostra el resultat dels 4 primers índexs de l'alzinar i el castanyer.

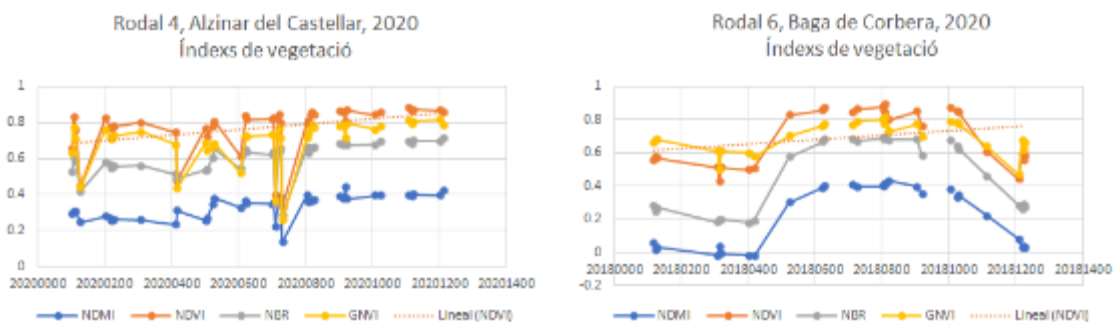


Figura 5-21. Corbes anuals dels índexs de vegetació per al *Quercus ilex* i la *Castanea sativa* (any 2020)

L'alzinar dona uns resultats molt similars a la sureda i només el castanyer és clarament diferenciable amb aquests índexs en un estudi anual.

Donada la similitud entre tots aquests índexs s'ha pres com a referència el NDVI, per ser el més usat i conegut, per tal de comparar-se amb els índexs RVI i l'EVI que es calculen de forma diferent a la diferència normalitzada dels quocients de les bandes.

Seguint el mateix exemple del rodal 19 s'han comparat els tres índexs, NDVI, EVI i RVI per l'any 2020. En la comparació gràfica (Figura 5-22) s'observa que el RVI i el EVI tenen unes corbes anuals similars que difereixen en bona mesura del NDVI en la primavera quan s'inicia el període de creixement dels fullatge en la primavera.

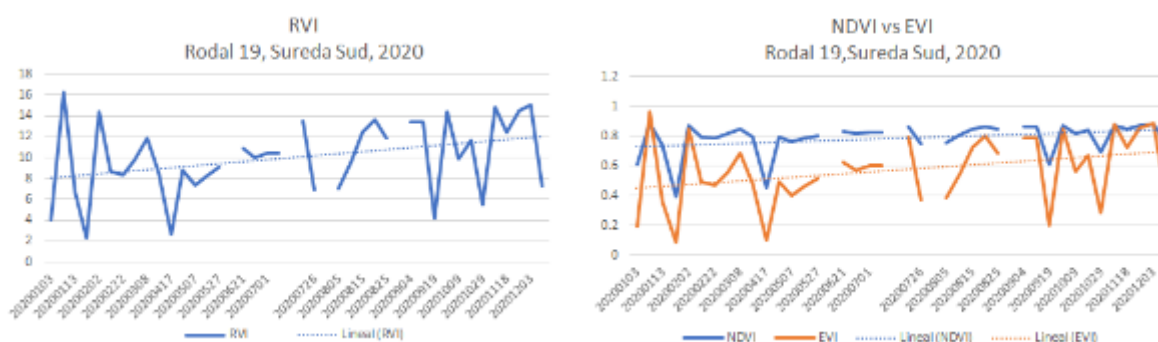


Figura 5-22: Corbes anuals dels índexs de vegetació RVI, NDVI i EVI per al *Quercus suber* (any 2020)

Per comprovar que els diferents resultats dels tres índexs es mantenen en el temps s'han calculat els tres índexs pels tres anys i s'han agrupat per tots els resultats de cada mes de l'any per la seva mitjana. Com que les unitats dels índexs difereixen s'han recalculat els resultats pel seu percentatge dins la mesura de cada índex i així es pot comparar el comportament intra-anual (Figura 5-23).

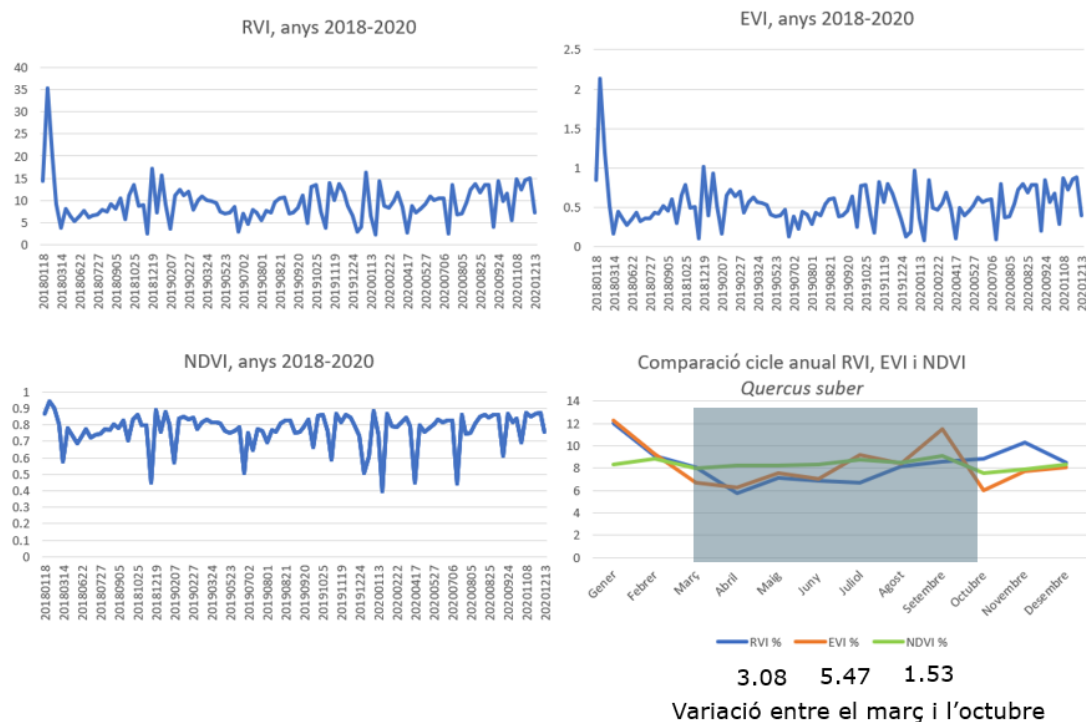


Figura 5-23: Comparació dels índexs de vegetació NDVI, EVI, RVI per dates i mesos del *Quercus suber*

La gràfica comparada dels tres índexs, en concret entre el març i l'octubre, ens mostra que el NDVI és poc sensible als canvis estacionals de la massa forestal, mentre que els índexs EVI i RVI tenen més fluctuacions dins de l'any.

S'ha repetit el mateix esquema de càlcul per als tres rodals restants. En la Figura 5-24 es poden veure els quatre rodals d'estudi. Es pot corroborar que el NDVI és poc sensible als canvis en les tres masses perennifòlies, i també menys sensible que els altres índexs en els caducifolis. L'efecte es dona en totes les tres masses forestals perennifòlies. També es confirma que el RVI i l'EVI tenen fluctuacions al llarg de l'any. La més destacable és la davallada de valors coincident en la primavera i un lleuger augment durant l'estiu. El efecte és curiós quan s'espera tenir un índex de vegetació més alt per ser l'època de les pluges i del creixement vegetatiu de l'arbre. També és destacable l'efecte de valors alts el mes de setembre per part de l'EVI en els boscos perennifolis quan els altres índexs no ho destaquen. També cal veure a què és degut el desplaçament

de l'índex de vegetació per part del RVI a diferència dels altres dos, que comencen abans.

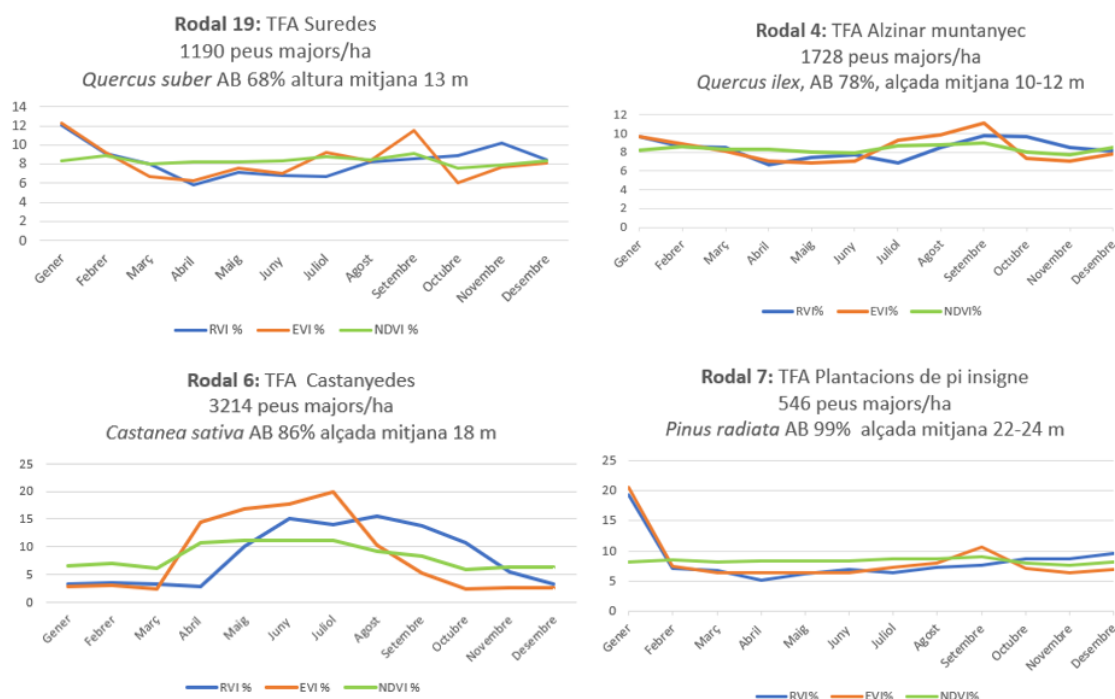


Figura 5-24 Comparació anual (mitjana de tres anys) dels índexs de vegetació NDVI, EVI i RVI en valors relatius

Els resultats dels càlculs i representacions d'aquestes dades, tant els valors de reflectància com els índexs de vegetació, ens porten a fixar-nos per què es destaca poc el creixement vegetatiu de la primavera en els boscos perennifolis i per què no baixen els valors d'aquests mateixos boscos a l'hivern i tardor. Això ens porta a concentrar-nos en l'anàlisi més exhaustiu de les bandes on la vegetació té grans canvis, en concret en les bandes del verd, vermell i del *red edge*.

5.4.4 Índex de Creixement de la Vegetació i comparativa amb les dades de camp

L'estudi detallat de les dades del Sentinel-2 en diferents anys ens ha portat a repensar com poder reflectir en un càlcul el canvi de valors de les bandes més sensibles a la resposta espectral de la vegetació. Com s'ha vist fins ara els càlculs es basen en molts casos en el càlcul comparatiu del comportament de dues bandes. Però un cop

analitzades les dades calculades fins ara es considera que si es poden fer intervindran més valors de reflectància de bandes sensibles a la resposta espectral de la vegetació i potser es podran trobar matisos de canvis intra-anuals d'una mateixa massa forestal que ajudi a distingir-les de les altres. Per aquest motiu es va considerar tant rellevant el canvi entre la banda del vermell respecte al *red edge* i infraroig com considerar el canvi entre la banda verda i la vermella, buscar les relacions de canvi entre aquests canals potser ajudaria a conèixer millor les masses boscoses objecte d'estudi.

Entre les aproximacions que es van realitzar, es va considerar treballar amb quatre canals, el verd i el vermell per recollir la baixada de reflectància del vermell respecte al verd amb la vegetació vigorosa i els canals del vermell fins els segon *red edge* per recollir l'increment més substancial abans d'arribar a l'infraroig. En la Taula 5-11 es recullen les quatre bandes escollides dins el conjunt de bandes del Sentinel-2 (color blau). Com es pot observar, dues bandes tenen en origen 10 metres de resolució espacial i dues bandes del *red edge* tenen 20 metres, finalment remostrejades a 10 metres.

Taula 5-11: Bandes espectrals del Sentinel-2 amb les bandes escollides per cada índex estudiat i per el nou índex ICV

Zona de l'espectre	Sentinel-2				Índexs de vegetació						
	Nº banda L2A (10m)	banda original	Mida pixel original	Centre espectral (nm)	NDVI	EVI	GNVI	RVI	NDMI	NRB	ICV
Ultraviolat		1									
Blau (blue)	1	2	10	490							
Verd (Green)	2	3	10	560							
Vermell (red)	3	4	10	665							
Red edge 1 (RE1)	4	5	20	705							
Red edge 2 (RE2)	5	6	20	740							
Red edge 3 (RE3)	6	7	20	783							
Infraroig proper 1 (NIR1)	7	8	10	842							
Infraroig proper 2 (NIR2)	8	8a	20	865							
		9 i 10									
Infraroig ona curta 1 (SWIR1)	9	11	20	1610							
Infraroig ona curta 2 (SWIR2)	10	12	20	2190							

Amb aquestes quatre bandes es van calcular les variacions percentuals, en tant per u, entre banda i banda i es va considerar que quan la banda verda (*Green*) era superior a la

vermella (*Red*) indicava un cert grau de vigor de la planta i quedava recollit com un increment de l'índex, mentre que quan la banda verda era inferior al vermell es considerava que no representava la vegetació sana ni formava part del període vegetatiu i es sotreia del valor total. La formula és:

$$ICV = \frac{RE1 - Red}{Red} + \frac{RE2 - RE1}{RE1} - \frac{Red - Green}{Green}$$

Aquest índex és considerat exclusivament per representar l'evolució i creixement de la vegetació. Un cop aplicat a la vegetació objecte d'estudi el rang dinàmic de valors els increments de la vegetació són aproximadament a partir de 1 fins 6 o 7. Quan més alts són els valors dins d'aquest interval s'estima més vigor. En canvi els valors inferiors a 1 no tenen cap altre significat que indicar que no hi ha vegetació. Per aquest motiu hem anomenat al càlcul Índex de Creixement de la Vegetació i el seu acrònim durant la Tesi serà ICV.

S'han aplicat aquests índexs als quatre rodals de test per veure el seu comportament i comparar-lo amb els índexs EVI i RVI que eren els que tenien més dinàmica al canvi dins del cicle vegetatiu anual.

En a la Figura 5-25 es mostra el rodal 19 on l'arbre dominant és el *Quercus suber*, de la família de les *Fagaceae* i del gènere *Quercus*. En la sèrie temporal dels tres anys, 2018, 2019 i 2020, on s'ha calculat directament l'índex ICV de les 4 bandes espectrals implicades de cada imatge, s'observa una certa fluctuació entre els mesos d'estiu i els mesos d'hivern. Per veure si és significativa s'han agrupat tots els índexs per mesos, sense tenir en compte l'any, amb la idea de visualitzar millor aquesta fluctuació i obtenir una signatura anual de l'índex tal i com s'ha representat en la gràfica de la signatura de creixement anual ICV. Tot i que sembla que hi ha una certa fluctuació, les variacions estacionals són molt suaus i el soroll intrínsec de les dades no ajuda a valorar les oscil·lacions. En canvi, quan es representen les dades agrupades per mesos en la gràfica del cicle anual ICV es pot veure com hi ha una davallada del març a l'abril, un creixement sostingut de la corba durant els següents mesos i no es torna a posicionar en el valor més alts fins la tardor. Aquests resultats ponderats pels tres anys d'una massa

forestal densa i madura representaran el patró per extrapolar després a altres rodals secundaris i, si s'escau, al territori circumdant per veure si el seu comportament es manté igual en cobertes similars i com varia en d'altres.

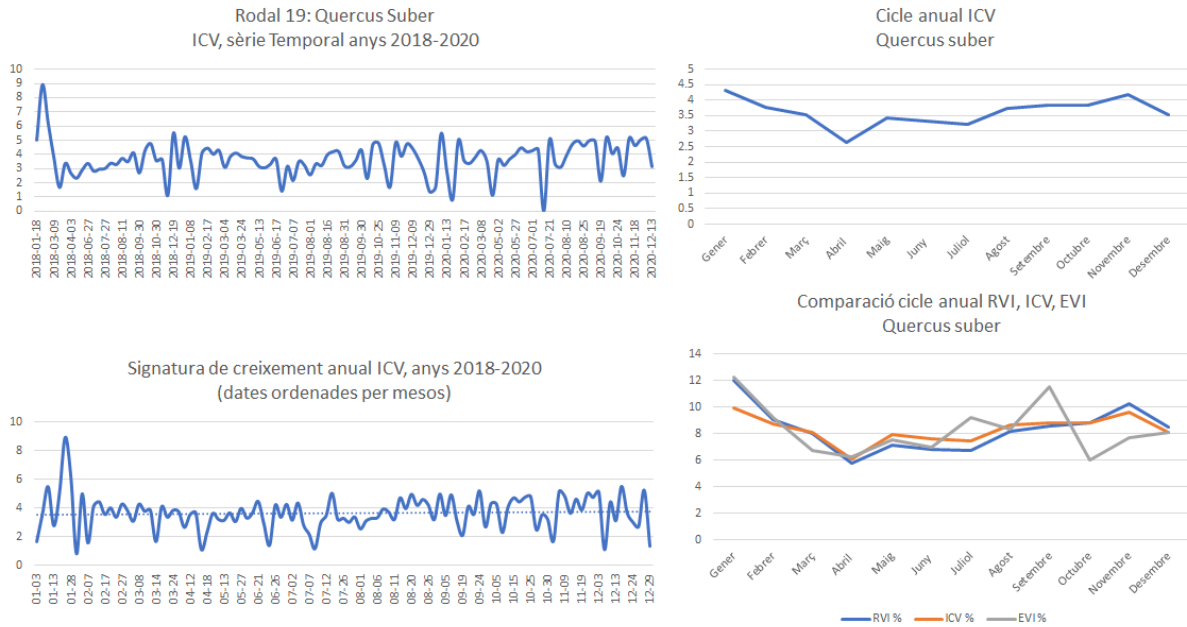


Figura 5-25: Representació gràfica de l'índex ICV per als tres anys del *Quercus suber* i la comparació entre els índexs RVI i EVI

S'ha repetit el mateix càlcul pels altres tres rodals. En la Figura 5-26 s'han recollit els resultat del rodal 4 on l'espècie dominant és el *Quercus ilex*, també de la família de les *Fagaceae* i del gènere *Quercus* i, com hem vist per als altres índexs calculats, té un comportament similar al *Quercus suber*.

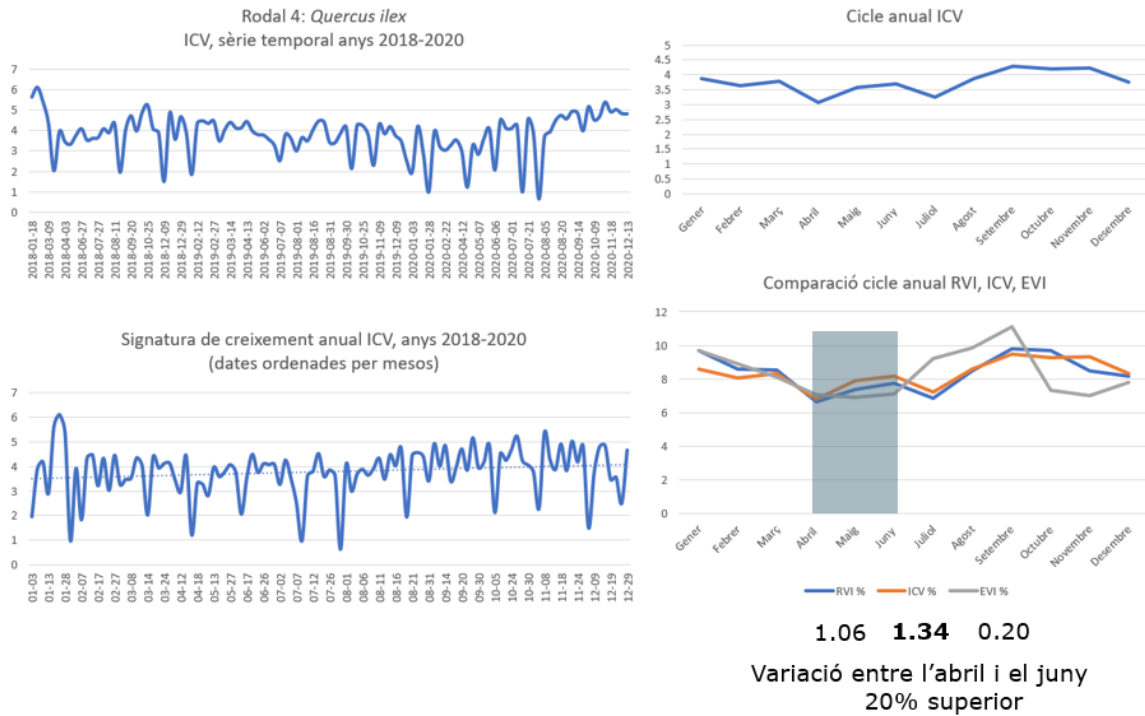


Figura 5-26: Representació gràfica de l'índex ICV per als tres anys del *Quercus ilex* i la comparació entre els índexs RVI i EVI

Similar al comportament del *Quercus ilex*, l'índex té una davallada suau entre el març i l'abril, per remuntar-se lleugerament el maig i abril. El juliol torna a baixar gairebé a nivells de l'abril i després es torna a remuntar sostingudament durant el mesos de tardor i hivern. Com es pot veure les dades comparades en valors relatius l'EVI és l'índex que difereix més, especialment a l'estiu i hivern, mentre que el RVI és més similar, tot i que l'ICV té un 20% més gran de variació. El comportament comparatiu entre índexs és similar al del *Quercus suber*.

En la Figura 5-27 es mostra el comportament dels *Pinus radiata* del rodal 7. Aquesta espècie tot i ser perennifòlia com les anteriors pertany a la família de les *Pínacees* del gènere *Pinus*.

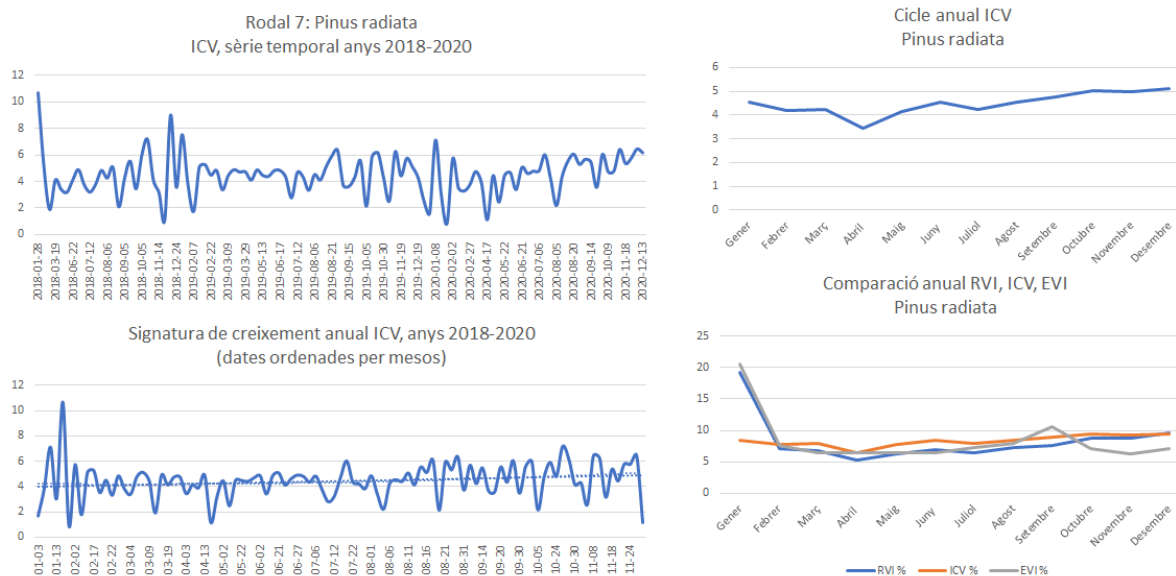


Figura 5-27: Representació gràfica de l'índex ICV per als tres anys del Pinus radiata i la comparació entre els índexs RVI i EVI

El comportament del *Pinus radiata* durant el tres anys també mostra certs trets diferenciats en diferents èpoques de l'any. Un cop reduïda la informació per mesos i considerant tot el cicle de l'any es pot veure com el punt més baix és l'abril, coincidint en el mateix punt amb el *Quercus ilex* i el *Quercus suber*. Després torna a remuntar lleugerament la resta de l'any a excepció d'una petita davallada el juliol però menys significativa que les espècies del Quercus. El més destacable és l'augment generalitzat de tot l'índex amb valors entre 4 i 5 de forma general. En aquest cas l'índex ICV torna a tenir un comportament més similar al RVI però resultat de forma més estable els possibles valors de reflectàncies inestables a principis d'any.

En la Figura 5-28 es mostra el comportament d'un bosc caducifoli format per una repoblació naturalitzada de *Castanea sativa*. La seva sèrie temporal, és realment molt clara, l'època hivernal on els arbres no tenen fulla l'índex està al límit aproximat de 1 i quan apareix el fullatge el valor del l'índex creix ràpidament. La variabilitat cíclica dins de l'any és el que veiem en moltes gràfiques de sèries temporals de vegetació en la bibliografia especialitzada. És un comportament típic dels boscos de caducifolis.

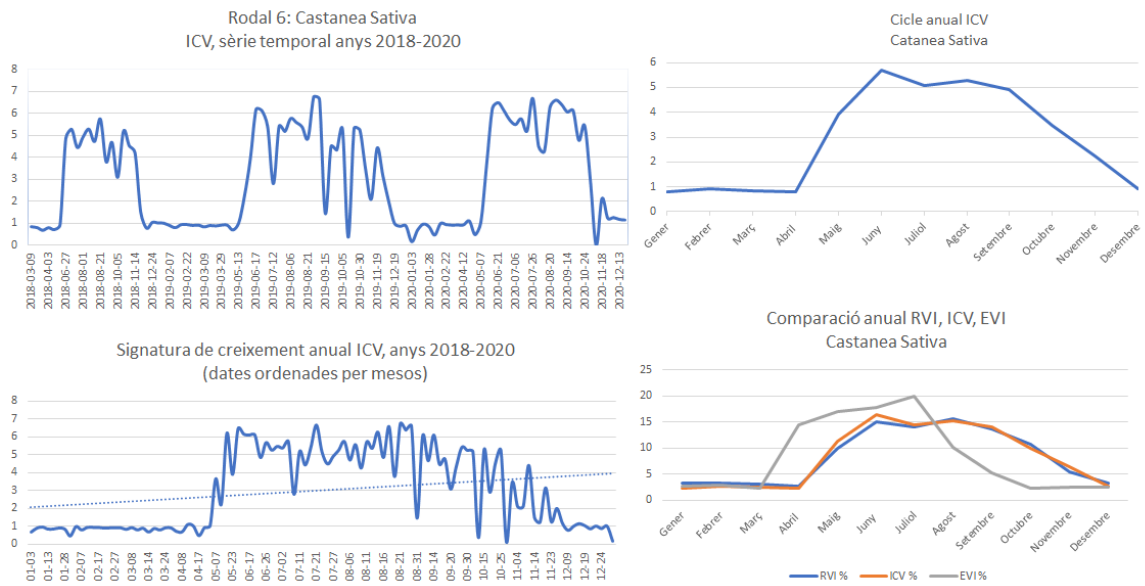


Figura 5-28: Representació gràfica de l'índex ICV per als tres anys del Castanea sativa

Quan agrupem les dades de tres anys obtenim una signatura del creixement anual mitjà del castanyer que servirà de patró temporal per ser comparat en els altres rodals de la mateixa espècie. Resulta interessant el comportament d'EVI que en aquest cas difereix del RVI i el ICV. Una primera anàlisi ens portaria a dir o intuir que l'EVI aprecia de forma anticipada els canvis a la vegetació de manera similar a com ho detectava el NDVI (veure Figura 5-24). Potser caldria considerar que l'EVI i el NDVI estant recollint altres característiques de l'evolució de la vegetació.

Per aprofundir en aquestes comparatives s'ha realitzat una comparació entre el RVI i el ICV per a les espècies *Quercus*, ja que s'assemblen més a la escala absoluta de cada índex per comprovar si hi ha alguna diferència remarcable (Figura 5-29).

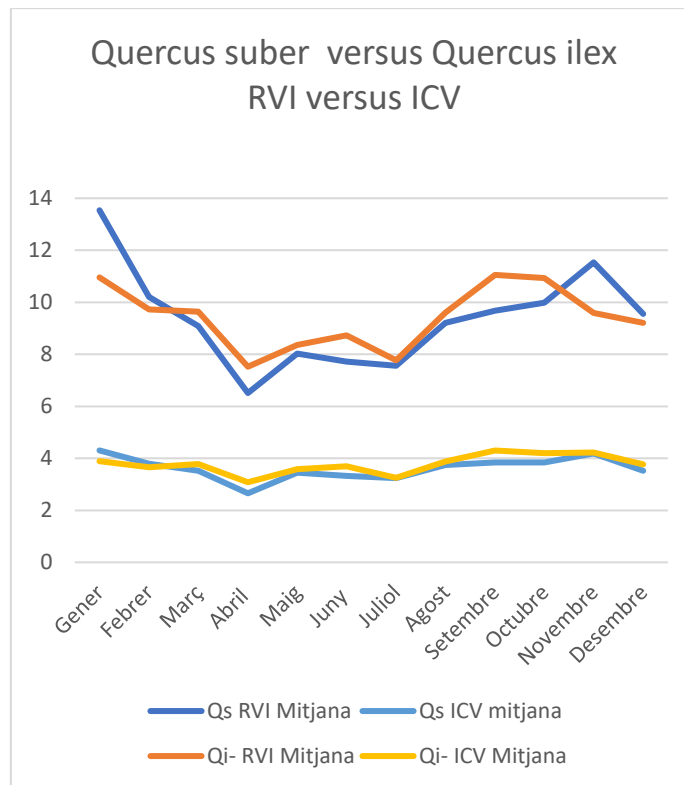


Figura 5-29: Representació en valors absoluts dels índexs RVI i ICV per el *Quercus ilex* i el *Quercus súber*

Com es pot observar en la gràfica els perfils són molt similars per a les dues espècies en els dos índexs especialment en els mesos centrals. En canvi en els mesos de principis d'any i finals d'any els valors difereixen més. Per repetir un esquema més similar entre les dues espècies molt similars semblaria que el ICV soluciona millor la caracterització.

5.4.4.1 Patrons temporals de quatre espècies arbòries

Els quatre rodals de mostreig per estudiar la coberta arbòria dominant han donat una corba temporal força uniforme amb la fusió dels tres anys. Caldria fer un estudi detallat de les variacions de la corba amb les variacions del creixement vegetatiu per buscar possibles relacions i segurament no seria una tasca fàcil poder-ho comprovar certament per què caldria realitzar un seguiment amb mesures al camp per recollir els creixements de les branques, la floració o la caiguda de les fulles, entre d'altres. Aquesta feina ha caigut fora de l'abast d'aquest treball de Tesi, el treball de camp realitzat ens ha servit essencialment per escollir els rodals o àrees d'interès i conèixer la seva composició i les

dinàmiques a llarg termini, les intervencions forestals o algun esdeveniment meteorològic. Tot i així, sota la premissa d'aquest treball d'intentar potenciar l'anàlisi de les sèries temporals i espectrals de la vegetació es discuteixen algunes relacions respecte al cicle anual de les masses arbòries a la zona d'estudi.

En el rodal 6 on l'espècie dominant és caducifòlia, és a dir, que perd la fulla en els mesos de tardor i no torna a sortir fins la primavera, l'esquema del patró temporal de l'ICV recorre clarament aquest patró. En la Figura 5-30 es mostren les grans fases fenològiques segons els canvis de l'índex, que coincideixen amb el cicle estacional.

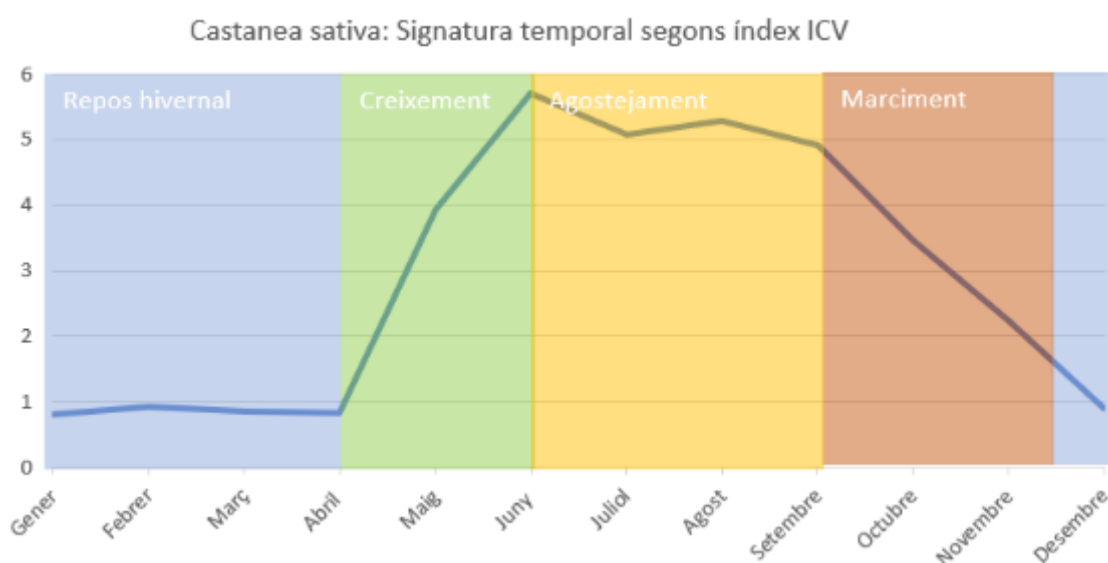


Figura 5-30: Patró temporal anual de l'índex ICV per a el Castanea Sativa marcant el cicle estacional

Així doncs, l'índex ICV amb el bosc caducifoli marca uns creixements i decreixements lògics de les quatre estacions del nostre clima mediterrani. A l'hivern, el castanyer està en repòs sense fulles en els arbres amb un índex molt baix a l'entorn de 1, a la primavera, a l'entorn de l'abril, hi ha la rebrotada de les fulles de forma explosiva, arribant al seu màxim a finals de juny amb un índex per sobre de 5 i després s'iniciaria un període més contingut on la força de la calor de l'estiu i la manca de pluges només permetrien el manteniment del fullatge, perdent la ufana primaveral, conegut com l'agostejament o primers símptomes de marciment. Finalment a la tardor hi ha un

descens contingut de l'índex indicant el marciment continuat de les fulles fins la seva pèrdua total al desembre.

S'entén que si l'índex ICV ha respost satisfactòriament amb els boscos caducifolis de *Castanea sativa* també hauria d'indicar creixements i variacions fenològiques en els boscos perennifolis estudiats malgrat costi més a veure-ho.

En la Figura 5-31 s'han recollit els patrons temporals des tres boscos perennifolis estudiats.

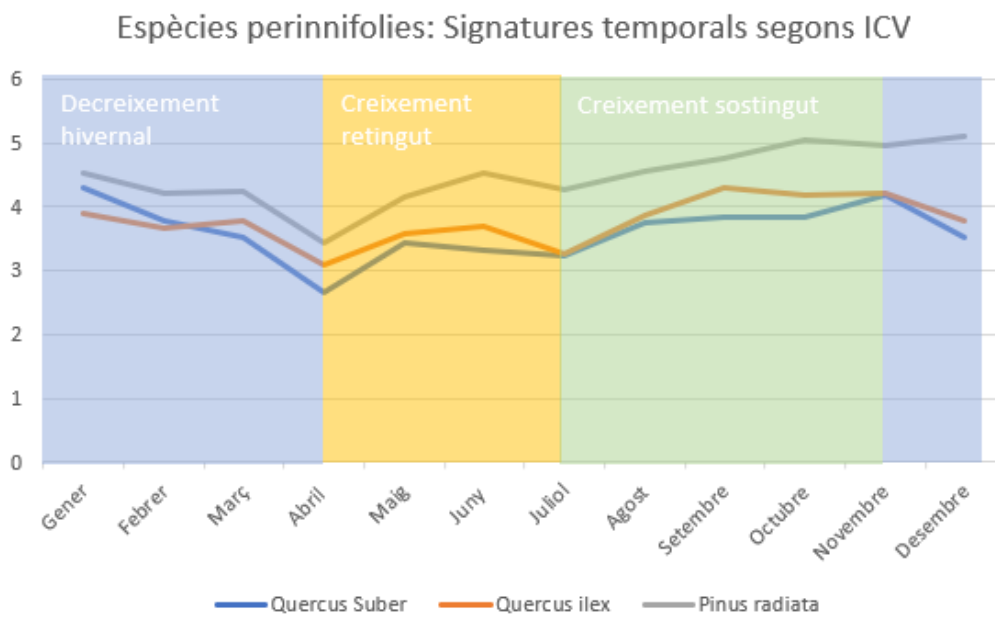


Figura 5-31: Patró temporal anual de l'índex ICV per a les espècies perennifòlies

Els patrons més similars són el *Quercus suber* i el *Quercus ilex*. Es tracta de dues espècies que cohabiten molt bé entre elles i especialment el rodal 19 on l'espècie dominant és el *Quercus suber*, té un bona participació del *Quercus ilex*. Les flors masculines, en forma de ramells groguencs solen sortir entre el març i l'abril, aquestes són molt vistoses i grans donant a totes les capçades un aspecte entre groguenc i carbassa que pot afectar clarament a una reducció de la reflectivitat. Les floracions masculines de l'alzina surera poden ser més tardanes, fins i tot entre l'abril i el maig. Les dues espècies després de la floració poden patir un cert estrès en el creixement degut a les temperatures estiuencques o manca de pluges i normalment els creixements

tornen a aparèixer quan les temperatures baixen i les pluges tornen durant la tardor (Rodríguez, 2009). En el cas d'alzina surera pot perdre les fulles gairebé de forma total en èpoques de sequera (Vieira-Natividade, 1991). Aquestes dinàmiques poden canviar molt segons la situació del rodal, el seu grau altitudinal, el pendent, l'orientació però en línies general es pot considerar que res té a veure amb els cicles dels boscos caducifolis i que l'índex ICV referit a aquestes espècies al llarg de l'any podrien respondre aquests esquemes fenològics descrits.

En el cas del pi insigne la corba de l'índex també indica creixements més vigorosos fora de l'estiu i un punt d'inflexió en l'abril, segurament en el moment de la floració. Semblaria que els creixements doncs també es veuen afectats en més o menys mesura per l'estiu. Aquesta espècie es considerada com un pi de creixement ràpid i caldria veure, com a línia de treball futura, si comparat amb altres espècies de pins presenten un comportament similar

5.4.5 Anàlisi Geoespacial

L'anàlisi temporal de les dades procedents del Sentinel-2 per les masses boscoses estudiades requereix també d'una representació espacial en el territori per veure la seva eficàcia en distingir efectes en el temps. Al llarg de tot el capítol hem volgut demostrar que l'estudi de totes les bandes espectrals suposaria una dificultat poc menys que insalvable per treballar en àrees geogràfiques més grans que uns petits rodals. Suposem que volem representar la nostra sèrie temporal de les 129 imatges finals per tota la zona d'estudi amb 10 bandes cadascuna, acumulant 1290 bandes. Tot i que els avenços en els programaris i capacitats de càlcul són cada vegada més alts, la interpretació i/o validació a escala de l'investigador o analista podria ser complicada d'interpretar. És probable que per aquest motiu moltes sèries temporals realitzades amb MODIS, Landsat i altres grans conjunts d'imatges de satèl·lit usin els índexs de vegetació o altres paràmetres calculats com una sola capa o banda capaç de concentrar la variabilitat de la resposta espectral de la vegetació.

Per aquesta Tesi hem avaluat els índexs de vegetació més adequats a les nostres imatges Sentinel-2 i a la zona d'estudi i s'ha intentat millorar els resultats amb l'índex ICV. Fins

ara s'havia estat aplicant als rodals de test però cal comprovar el seu comportament en el context del territori a estudi. En aquest sentit hem aplicat l'índex a l'àrea que engloba tots els rodals (Figura 2-2). L'índex s'ha calculat per totes les imatges descarregades dels anys 2017, 2018, 2019 i 2020 i s'han fusionant per als 4 anys en 4 *stacks* o piles. També s'ha creat uns *stack* d'ICVs per tots els anys. En aquest càlcul no s'ha descartat cap imatge, tot i que ja hem vist que moltes tenen núvols, boires i ombres locals. Però en aquesta aplicació més amplia de l'índex s'obtidran els resultats de la resta de rodals amb afectacions d'imatges incorrectes diferents segons la zona.

En la Figura 5-32 es mostra una vista panoràmica de la part nord de la zona d'estudi comparant l'ortofotomapa de l' ICGC de l'any 2018 en RGB i l'aplicació de l'índex ICV amb tres dates per cada color del RGB; 4 de març del 2018, 11 d'agost del 2018 i 24 de desembre del 2018.

En la primera comparació en el marc territorial entre l'ortofotomapa i l'índex es pot observar la capacitat de discriminació que dona l'índex en tres dates. En color verd podem veure tots els boscos de caducifolis que essencialment estan conformats per fagedes i castanyedes a l'oest on es veu també el Pantà de Santa Fe (parcel·la 18) i la resta són els boscos de ribera o les plantacions de castanyer com el rodal 2 que es veu al nord. Els alzinars i suredes corresponen als colors rosats com els rodals 4, 1, 22, 19, 3, 11, 16 i 23 mentre que els pins insignes corresponen als colors saltejats blanquinosos com els rodals 7, 8, 9, 10, 13, 14 i 15. Les zones fosques corresponen a zones sense vegetació i els diferents tons d'àrees amples de blaus dins les zones boscoses corresponen a gestions forestals d'anys anteriors, mentre que els vermells o roses molt intensos dins de les zones boscoses són intervencions forestals realitzades el mateix any 2018.

En qualsevol cas, hem de veure com es comporta l'índex en una zona concreta per un *stack* d'imatges on observar la resposta de l'índex segons l'evolució fenològica però també segons la qualitat de les imatges originals Sentinel-2 afectades per la cobertura de núvols o boires.

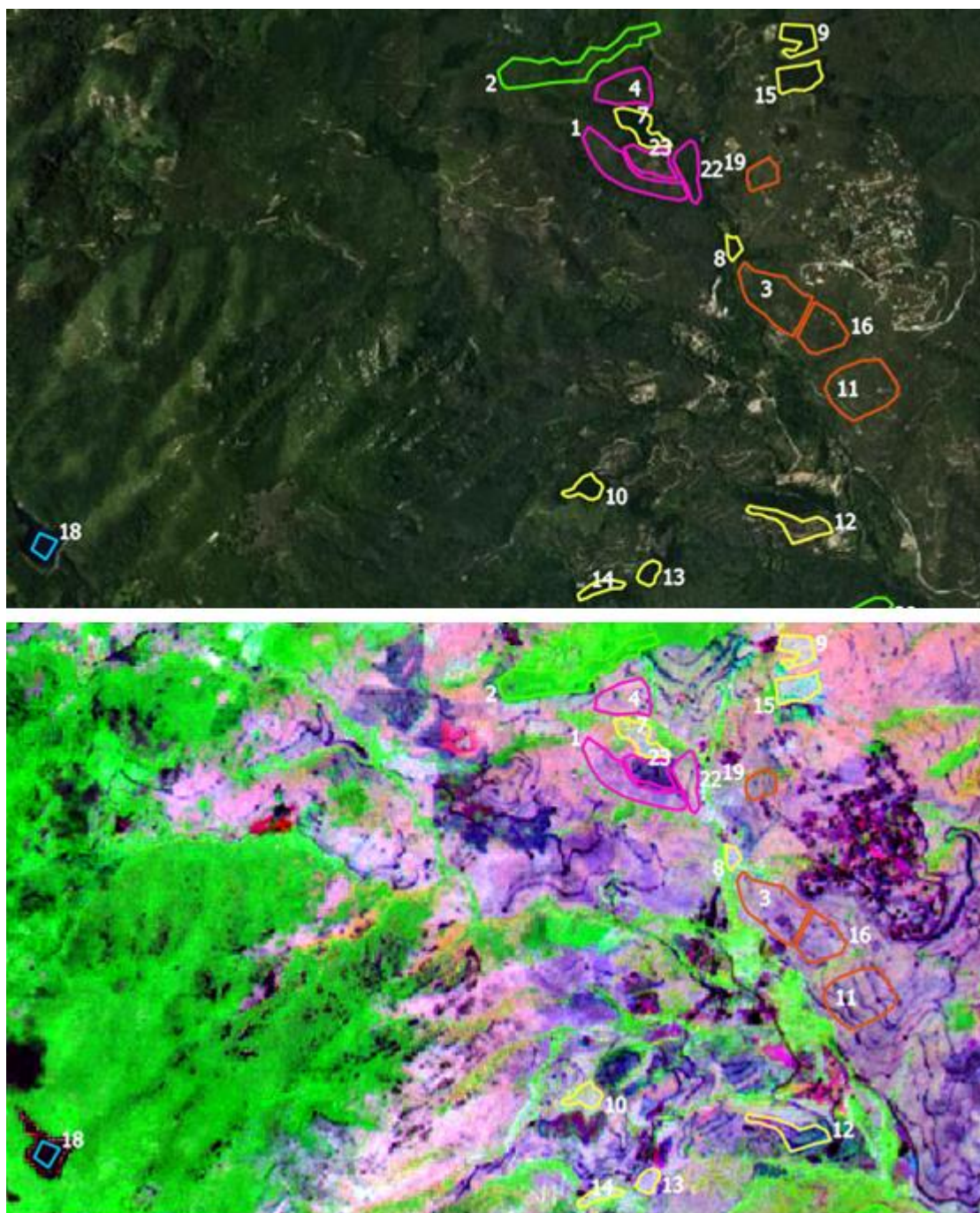
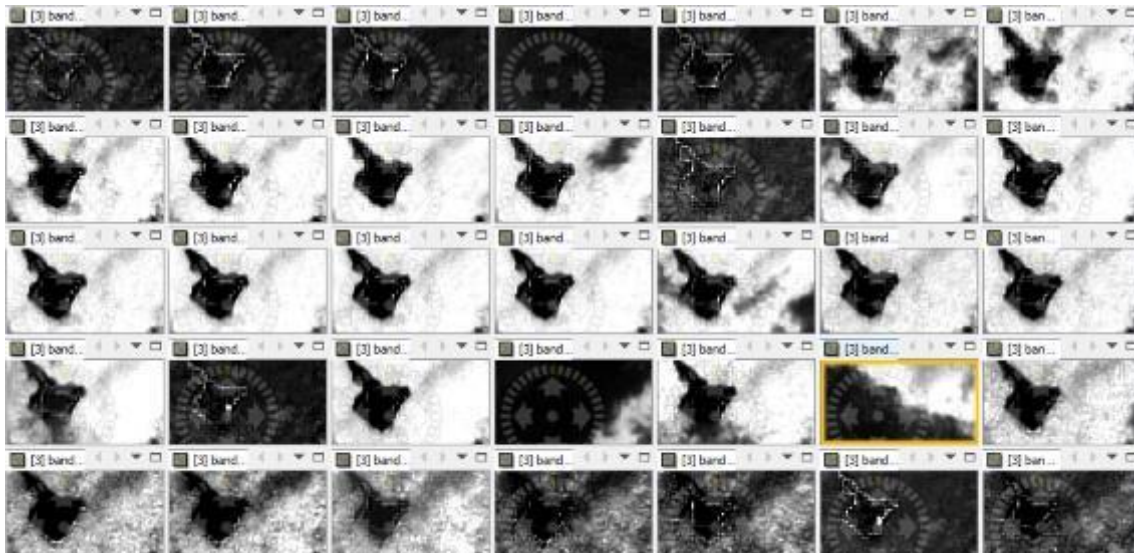


Figura 5-32: Comparació entre l'ortofoto RGB (2018) de l'ICGC i l'aplicació de l'índex ICV 2018 entres dates RGB

En la Figura 5-33 es mostra un petita zona de boscos caducifolis format principalment per faig (*Fagus sylvatica*) a l'entorn del Pantà de Santa Fe al llarg d'una part de la sèrie temporal de l'índex del stack del 2019, 35 imatges de l'ICV. La mostra comença el mes

de març, abans de la sortida de les fulles en tons foscos del bosc igual que l'embassament i en un mes entre la imatge d'abril i maig surten les fulles de forma explosiva, aleshores l'índex del bosc es converteix en valors alts i, per tant, els colors són tons de blancs. A mida que les fulles es van perdre l'índex va disminuint, agafant tons grisosos fins al final de la tardor.



*Figura 5-33. Quicklooks de l'ICV del març al novembre del 2019 a la zona de faigs (*Fagus sylvatica*) i el pantà a Santa Fe del Montseny*

Els valors de l'índex també es veuen afectats per les inclemències meteorològiques no resoltes en la correcció atmosfèrica. N'és un bon exemple el *quicklook* indicat en rectangle taronja en la Figura 5-34 que té zones de l'índex molt defectuós degut a la cobertura de núvols. És l'índex que correspon a la imatge del dia 5 d'octubre del 2019. En la Figura 5-34 es mostra la seva aplicació a tota l'àrea d'estudi.

Localment però, si el rodal no es veu afectat pels núvols o ombres pot tenir un índex amb la suficient integritat i, per tant, útil per caracteritzar la signatura temporal. Això és rellevant per què un cop aplicat l'índex a totes les imatges farem les extraccions per rodals amb el mateix tipus de coberta arbòria i caldrà treure del grup de dades els índexs mal calculats. En aquest cas s'han extret les estadístiques bàsiques i també s'ha tornat incloure la variància. Quan la variància és extremadament alta, superior a 2.00 i en

mitjanes de l'índex fora del rang esperat dins del rodal la imatge és exclosa del grup d'imatges del rodal.

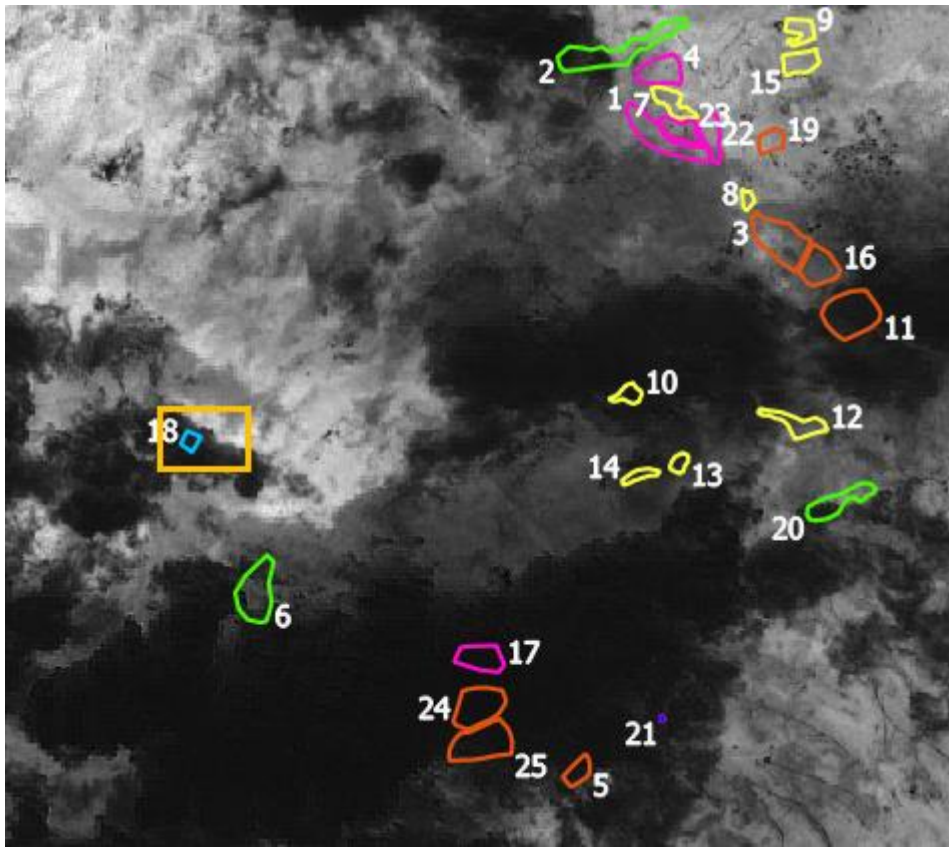


Figura 5-34: Aplicació de l'índex ICV en la imatge Sentinel-2 del dia 5 d'octubre del 2019 amb cobertura parcial de núvols

En la Taula 5-12 es recull el càlcul de la mitjana i variància del rodal 1 de *Quercus ilex* per tot el conjunt d'imatges, incloses les del 2017. Es pot veure que algunes variàncies són extremadament altes i superant el llindar establert, per tant seran excloses de la caracterització del patró. També s'ha indicat en color blau l'índex calculat pel dia 5 d'octubre del 2019. Tot i que l'índex és baix respecte a les imatges anteriors i posteriors del mateix any o de l'any anterior no s'ha esborrat. La variància és bona i moltes vegades els resultats són bons. Aquest valor quedarà inclòs en la mitjana de totes les dades mensuals dels tres anys 2018, 2019 i 2020. Pels resultats comparats de l'índex es comprova que les imatges 2017 no tenen la mateixa qualitat amb variàncies molt grans, per tant no s'han inclòs a l'hora de buscar patrons.

Taula 5-12: Estadístiques bàsiques de l'índex ICV per rodal al *Quercus Ilex* per tot l conjunt d'imatges des del 2017 al 2020

Any	Data	band	count	max	mean	median	min	range	std	sum	unique	var
2017	20170523	1	432	198.752	10.023	5.260	3.503	195.249	21.765	4330.023	426.000	473.714
2017	20170602	2	432	8.261	5.502	5.525	3.773	4.488	0.643	2376.758	431.000	0.413
2017	20170612	3	432	9.374	6.557	6.686	3.513	5.861	1.049	2832.487	431.000	1.101
2017	20170622	4	432	6.169	4.646	4.782	2.758	3.411	0.613	2007.061	432.000	0.376
2017	20170702	5	432	8.853	6.263	6.443	3.454	5.399	0.966	2705.671	431.000	0.932
2017	20170712	6	432	7.012	5.439	5.547	3.178	3.834	0.743	2349.515	431.000	0.552
2017	20170821	7	432	7.337	5.216	5.289	3.633	3.705	0.569	2253.395	430.000	0.324
2017	20170910	8	432	6.106	4.987	5.017	3.577	2.529	0.431	2154.594	432.000	0.186
2017	20170920	9	432	0.875	0.215	0.173	-0.055	0.929	0.163	92.893	432.000	0.027
2017	20171119	10	432	7.737	5.041	5.011	2.943	4.794	0.675	2177.551	432.000	0.456
2017	20171219	11	432	355.753	8.942	6.137	2.518	353.235	28.931	3863.137	431.000	836.983
2017	20171224	12	432	307.768	7.510	5.754	2.147	305.621	20.669	3244.119	432.000	427.218
2018	20180118	13	432	20.973	5.960	5.837	2.315	18.658	1.448	2574.587	432.000	2.096
2018	20180123	14	432	138.700	6.867	6.365	1.969	136.731	6.660	2966.678	432.000	44.352
2018	20180128	15	432	13.099	5.648	5.597	1.792	11.307	1.098	2439.983	430.000	1.205
2018	20180309	16	432	6.834	4.509	4.655	1.383	5.451	0.787	1947.896	431.000	0.619
2018	20180314	17	432	2.499	2.040	2.077	0.882	1.617	0.214	881.071	432.000	0.046
2018	20180319	18	432	5.844	4.023	4.091	1.086	4.758	0.716	1737.745	432.000	0.512
2018	20180403	19	432	4.811	3.556	3.692	1.019	3.792	0.620	1536.177	432.000	0.385
2018	20180418	20	432	4.427	3.441	3.549	0.790	3.636	0.533	1486.591	432.000	0.284
2018	20180523	21	432	1.503	0.526	0.500	-0.023	1.526	0.296	227.376	432.000	0.088
2018	20180622	22	432	4.915	3.824	3.901	1.784	3.131	0.497	1651.901	432.000	0.247
2018	20180627	23	432	5.718	4.192	4.273	1.607	4.111	0.698	1810.814	431.000	0.488
2018	20180707	24	432	4.463	3.570	3.680	1.770	2.694	0.434	1542.377	432.000	0.188
2018	20180712	25	432	4.543	3.668	3.720	1.660	2.882	0.449	1584.471	432.000	0.202
2018	20180727	26	432	4.421	3.694	3.780	1.826	2.596	0.418	1595.949	432.000	0.175
2018	20180801	27	432	5.269	4.175	4.310	1.677	3.592	0.571	1803.604	431.000	0.326
2018	20180806	28	432	4.866	3.954	4.068	1.567	3.299	0.499	1708.227	432.000	0.249
2018	20180811	29	432	5.533	4.427	4.566	1.758	3.774	0.573	1912.640	432.000	0.329
2018	20180821	30	432	3.235	2.022	1.993	0.926	2.310	0.435	873.685	432.000	0.189
2018	20180905	31	432	4.725	4.060	4.117	2.099	2.626	0.390	1753.726	431.000	0.152
2018	20180920	32	432	6.333	4.791	4.866	2.066	4.267	0.525	2069.879	432.000	0.276
2018	20180930	33	432	5.192	4.044	4.120	0.740	4.452	0.542	1746.889	430.000	0.294
2018	20181005	34	432	6.285	4.954	5.005	2.354	3.931	0.543	2140.024	432.000	0.295
2018	20181015	35	432	0.120	0.082	0.083	0.032	0.088	0.015	35.384	429.000	0.000
2018	20181025	36	432	6.834	5.314	5.372	2.609	4.224	0.522	2295.648	431.000	0.273
2018	20181030	37	432	4.832	4.098	4.118	2.866	1.966	0.322	1770.416	432.000	0.104
2018	20181114	38	432	7.426	4.031	4.145	2.076	5.350	0.786	1741.365	432.000	0.619
2018	20181209	39	432	1.930	1.522	1.547	0.931	1.000	0.169	657.464	431.000	0.028
2018	20181219	40	432	7.252	4.917	5.045	2.505	4.747	0.733	2124.102	431.000	0.537
2018	20181224	41	432	4.558	3.584	3.681	1.931	2.627	0.466	1548.391	432.000	0.217
2018	20181229	42	432	6.758	4.730	4.832	1.800	4.959	0.694	2043.513	432.000	0.482
2019	20190108	43	432	5.039	3.964	4.019	1.857	3.182	0.489	1712.316	432.000	0.240
2019	20190207	44	432	2.362	1.848	1.864	1.192	1.171	0.215	798.328	432.000	0.046
2019	20190212	45	432	5.905	4.446	4.555	1.672	4.233	0.629	1920.692	432.000	0.396
2019	20190217	46	432	5.960	4.560	4.670	1.939	4.021	0.652	1969.759	432.000	0.426
2019	20190222	47	432	6.102	4.474	4.579	1.829	4.272	0.655	1932.962	432.000	0.429
2019	20190227	48	432	5.870	4.569	4.705	1.537	4.334	0.684	1973.938	431.000	0.468
2019	20190304	49	432	4.405	3.561	3.664	1.184	3.220	0.462	1538.321	432.000	0.214
2019	20190309	50	432	5.372	4.131	4.249	1.886	3.486	0.575	1784.704	432.000	0.331
2019	20190314	51	432	6.046	4.539	4.666	1.734	4.311	0.676	1960.749	432.000	0.458
2019	20190324	52	432	5.447	4.288	4.425	1.500	3.947	0.630	1852.217	431.000	0.397
2019	20190329	53	432	5.658	4.267	4.380	1.236	4.422	0.623	1843.156	431.000	0.388
2019	20190408	54	432	4.437	1.225	0.618	0.128	4.309	1.186	529.203	431.000	1.406
2019	20190413	55	432	6.143	4.579	4.682	1.814	4.329	0.632	1977.970	432.000	0.400
2019	20190513	56	432	5.336	4.059	4.151	1.549	3.787	0.567	1753.359	432.000	0.322
2019	20190523	57	432	5.239	3.838	3.906	1.857	3.381	0.479	1658.015	431.000	0.229
2019	20190602	58	432	5.508	3.821	3.872	1.795	3.712	0.520	1650.884	432.000	0.271
2019	20190617	59	432	5.371	3.597	3.611	1.824	3.547	0.522	1554.059	432.000	0.272
2019	20190622	60	432	1.610	1.353	1.356	1.120	0.489	0.084	584.328	431.000	0.007
2019	20190702	61	432	4.696	3.330	3.372	1.476	3.220	0.546	1438.626	432.000	0.298
2019	20190707	62	432	3.371	2.542	2.558	1.365	2.007	0.304	1098.178	432.000	0.092
2019	20190712	63	432	5.245	3.873	3.960	1.554	3.691	0.620	1673.241	432.000	0.384
2019	20190722	64	432	4.886	3.661	3.740	1.248	3.638	0.532	1581.543	432.000	0.284
2019	20190801	65	432	3.984	3.045	3.129	1.375	2.608	0.418	1315.234	431.000	0.175
2019	20190806	66	432	5.002	3.718	3.796	1.487	3.514	0.570	1606.370	432.000	0.325
2019	20190811	67	432	4.544	3.545	3.620	1.528	3.016	0.499	1531.515	431.000	0.249
2019	20190816	68	432	5.681	4.113	4.185	1.490	4.191	0.613	1776.967	432.000	0.376
2019	20190821	69	432	6.678	4.587	4.691	1.612	5.066	0.798	1981.489	432.000	0.636
2019	20190826	70	432	6.567	4.566	4.652	1.312	5.255	0.786	1972.594	432.000	0.617
2019	20190831	71	432	4.276	3.447	3.494	1.772	2.504	0.405	1489.247	431.000	0.164

2019	20190915	72	432	4.327	3.430	3.479	1.877	2.449	0.386	1481.628	432.000	0.149
2019	20190920	73	432	4.813	3.889	3.942	2.048	2.766	0.417	1680.246	432.000	0.174
2019	20190930	74	432	5.561	4.227	4.258	2.240	3.321	0.524	1826.173	432.000	0.275
2019	20191005	75	432	2.799	2.159	2.210	1.156	1.642	0.301	932.797	432.000	0.090
2019	20191015	76	432	5.743	4.305	4.308	2.317	3.426	0.484	1859.636	431.000	0.235
2019	20191025	77	432	6.028	4.289	4.284	2.412	3.617	0.457	1852.644	432.000	0.209
2019	20191030	78	432	5.040	3.831	3.843	2.475	2.565	0.370	1654.858	432.000	0.137
2019	20191104	79	432	3.981	2.342	2.225	1.466	2.514	0.506	1011.784	431.000	0.256
2019	20191109	80	432	5.985	4.338	4.313	2.479	3.506	0.492	1874.021	432.000	0.242
2019	20191119	81	432	4.977	3.875	3.871	2.828	2.150	0.368	1673.788	432.000	0.135
2019	20191124	82	432	6.125	4.232	4.227	2.635	3.490	0.486	1828.318	432.000	0.236
2019	20191129	83	432	0.416	0.189	0.179	0.026	0.390	0.064	81.552	432.000	0.004
2019	20191209	84	432	5.691	3.786	3.832	1.951	3.740	0.563	1635.527	432.000	0.317
2019	20191219	85	432	4.743	3.511	3.546	1.818	2.925	0.445	1516.551	430.000	0.198
2019	20191224	86	432	3.076	2.514	2.547	1.644	1.432	0.240	1085.962	431.000	0.058
2019	20191229	87	432	1.071	0.401	0.369	0.062	1.008	0.202	173.130	432.000	0.041
2020	20200103	88	432	2.475	1.986	2.005	1.421	1.054	0.200	857.760	432.000	0.040
2020	20200108	89	432	6.999	4.258	4.238	1.307	5.692	0.626	1839.511	431.000	0.392
2020	20200113	90	432	4.011	2.958	2.984	1.338	2.673	0.347	1277.833	432.000	0.120
2020	20200128	91	432	1.236	0.999	1.012	0.654	0.582	0.102	431.428	430.000	0.010
2020	20200202	92	432	5.988	4.003	4.058	1.300	4.688	0.611	1729.229	432.000	0.373
2020	20200217	93	432	4.478	3.287	3.357	1.193	3.285	0.450	1419.919	431.000	0.202
2020	20200222	94	432	4.191	3.085	3.177	0.954	3.237	0.428	1332.638	432.000	0.183
2020	20200227	95	432	4.405	3.353	3.434	0.925	3.480	0.532	1448.473	432.000	0.283
2020	20200308	96	432	5.350	3.681	3.776	0.881	4.469	0.658	1590.175	430.000	0.433
2020	20200412	97	432	4.679	3.115	3.222	0.725	3.954	0.604	1345.754	432.000	0.364
2020	20200417	98	432	1.578	1.238	1.235	0.868	0.710	0.113	534.697	432.000	0.013
2020	20200502	99	432	5.382	3.451	3.550	0.973	4.409	0.752	1491.012	432.000	0.566
2020	20200507	100	432	4.567	2.999	3.179	1.183	3.384	0.759	1295.702	432.000	0.575
2020	20200522	101	432	5.328	3.728	3.810	1.218	4.110	0.676	1610.475	431.000	0.457
2020	20200527	102	432	5.742	4.234	4.386	1.410	4.332	0.736	1829.013	432.000	0.542
2020	20200606	103	432	4.998	2.506	2.400	0.552	4.445	1.197	1082.758	432.000	1.433
2020	20200621	104	432	5.914	4.600	4.730	2.131	3.782	0.656	1987.119	432.000	0.431
2020	20200626	105	432	5.573	4.245	4.418	1.657	3.916	0.674	1833.630	432.000	0.454
2020	20200701	106	432	5.482	4.250	4.416	1.345	4.138	0.730	1836.189	430.000	0.533
2020	20200706	107	432	5.676	4.432	4.607	1.315	4.361	0.730	1914.643	432.000	0.532
2020	20200711	108	432	3.368	1.275	1.171	0.432	2.937	0.656	550.757	432.000	0.430
2020	20200721	109	432	6.909	4.794	4.976	1.134	5.775	0.969	2071.115	430.000	0.940
2020	20200726	110	432	5.400	3.959	4.094	1.112	4.287	0.669	1710.286	432.000	0.447
2020	20200731	111	432	1.414	0.666	0.604	0.375	1.040	0.195	287.805	432.000	0.038
2020	20200805	112	432	5.467	3.766	3.686	1.501	3.966	0.753	1626.967	430.000	0.566
2020	20200810	113	432	5.234	4.059	4.173	1.462	3.772	0.653	1753.547	432.000	0.426
2020	20200815	114	432	6.415	4.721	4.885	0.979	5.436	0.851	2039.436	432.000	0.724
2020	20200820	115	432	6.645	5.021	5.177	1.283	5.363	0.956	2168.940	432.000	0.915
2020	20200825	116	432	6.468	4.796	4.945	1.405	5.063	0.838	2071.805	432.000	0.702
2020	20200830	117	432	0.197	0.051	0.047	-0.059	0.256	0.041	21.919	432.000	0.002
2020	20200904	118	432	7.084	5.155	5.271	1.569	5.515	0.851	2226.879	432.000	0.725
2020	20200914	119	432	6.739	5.044	5.148	1.441	5.299	0.783	2179.153	432.000	0.613
2020	20200919	120	432	5.239	3.960	4.066	1.578	3.662	0.588	1710.936	432.000	0.345
2020	20200924	121	432	6.941	5.393	5.464	2.084	4.857	0.820	2329.955	432.000	0.672
2020	20201009	122	432	5.866	4.624	4.690	1.696	4.171	0.611	1997.522	432.000	0.373
2020	20201024	123	432	6.187	4.778	4.828	1.919	4.268	0.598	2064.081	432.000	0.357
2020	20201029	124	432	0.816	0.306	0.274	0.023	0.793	0.165	132.299	432.000	0.027
2020	20201108	125	432	7.740	5.488	5.555	2.838	4.902	0.705	2371.011	432.000	0.496
2020	20201118	126	432	6.798	5.007	5.086	2.059	4.739	0.683	2163.061	432.000	0.466
2020	20201123	127	432	7.451	5.142	5.215	2.527	4.924	0.756	2221.555	432.000	0.571
2020	20201203	128	432	9.865	5.014	5.137	1.707	8.158	1.000	2165.943	432.000	1.000
2020	20201213	129	432	14.297	5.108	5.110	1.904	12.393	1.216	2206.814	432.000	1.479

S'ha realitzat el mateix procés per tots els rodals principals que tenen una cobertura arbòria densa, amb una espècie arbòria dominant i que no hagin sofert gestió forestal en

els tres darrers anys, a excepció del rodal 19 on es va realitzar una estassada de sotabosc i una extracció del suro l'any 2018.

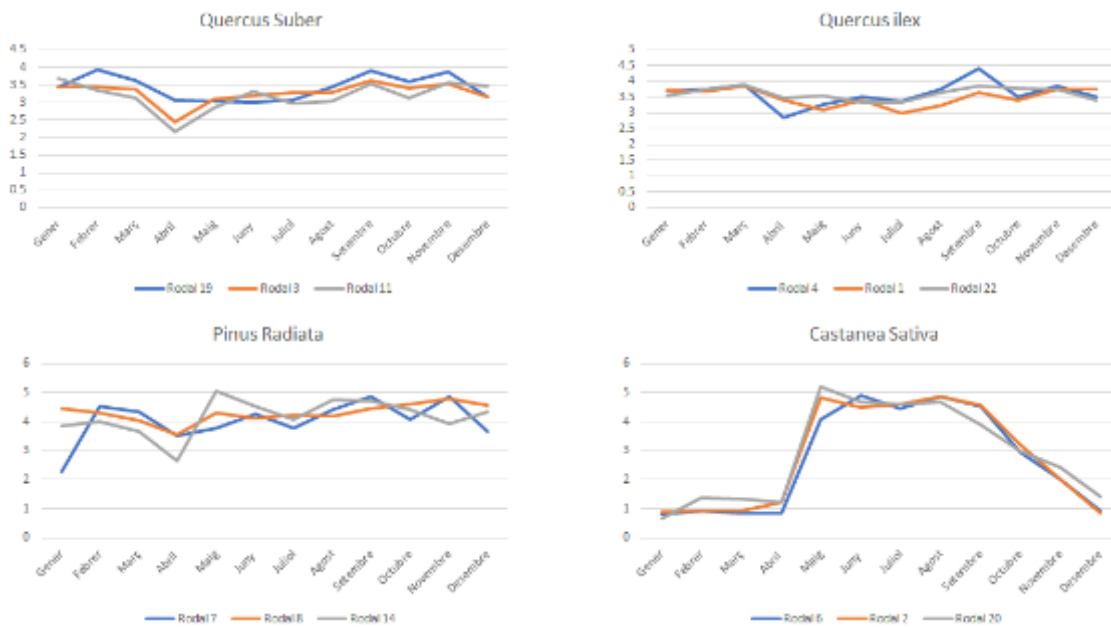


Figura 5-35: Aplicació de l'índex ICV grups de rodals amb la mateixa espècie arbòria

En la Figura 5-35 es poden veure els resultats que ens porten a obtenir tres conclusions:

1. **Imatges Sentinel-2 L2A:** Malgrat les diferències entre les correccions atmosfèriques de les imatges, l'aplicació de l'índex ICV i el posterior filtratge i la simplificació a resultats mensuals, es demostra que per rodals de la mateixa coberta arbòria dominat els resultats són similars i estables.
2. **Patró temporal de l'ICV:** Dona una nova visió de les dades Sentinel-2 que ajuda a determinar el cicle vegetatiu de les masses forestals per a un conjunt de dades originals molt elevat. És molt rellevant poder determinar l'inici de l'estació a la primavera per la floració en el cas de les espècies del *Quercus* i en bona mesura també del pins i de la brotada de fulles dels caducifolis. Aquesta data canviarà segons la situació geogràfica de les espècies i les condicions meteorològiques i climàtiques, però amb aquest patró temporal es pot determinar per a cada ubicació.

3. **Discriminació entre cobertes arbòries mediterrànies:** Els resultats dels patrons temporals mostren que les espècies del gènere *Quercus*, l'alzina i l'alzina surera són molt similars. Tot i que sembla que l'alzina surera té una davallada més forta a la primavera. La floració de les flors masculines així com la pèrdua de fulla que sol ser molt més forta que l'alzina, ho podrien argumentar.

5.4.6 Proposta de model de classificador

El treball d'anàlisi de les dades on s'ha fusionat el coneixement de la informació forestal al camp amb les dades del Sentinel-2 ha donat la fiabilitat suficient per poder concloure que les àrees treballades tenen resultats vàlids malgrat que en molt casos siguin molt similars. Aquesta fiabilitat ens porta a generar la hipòtesi de treball de que si el model de càlcul es realitza en àrees geogràfiques més grans es poden obtenir resultats que poden ajudar a conèixer millor els nostres boscos i la seva dinàmica. Per aconseguir-ho el model de càlcul s'ha d'extrapolar i densificar i es podran obtenir diferents resultats.

En el diagrama de flux de la Figura 5-36 s'esquematitza el model de càlcul que ja hem explicat i quins són els seus resultats que es podem obtenir.

Si es determina correctament els tipus de massa forestal pel seu patró temporal de tres anys qualsevol diferència determina un canvi. Els canvis dins la sèrie temporal poden tenir diferents magnituds o intensitats.

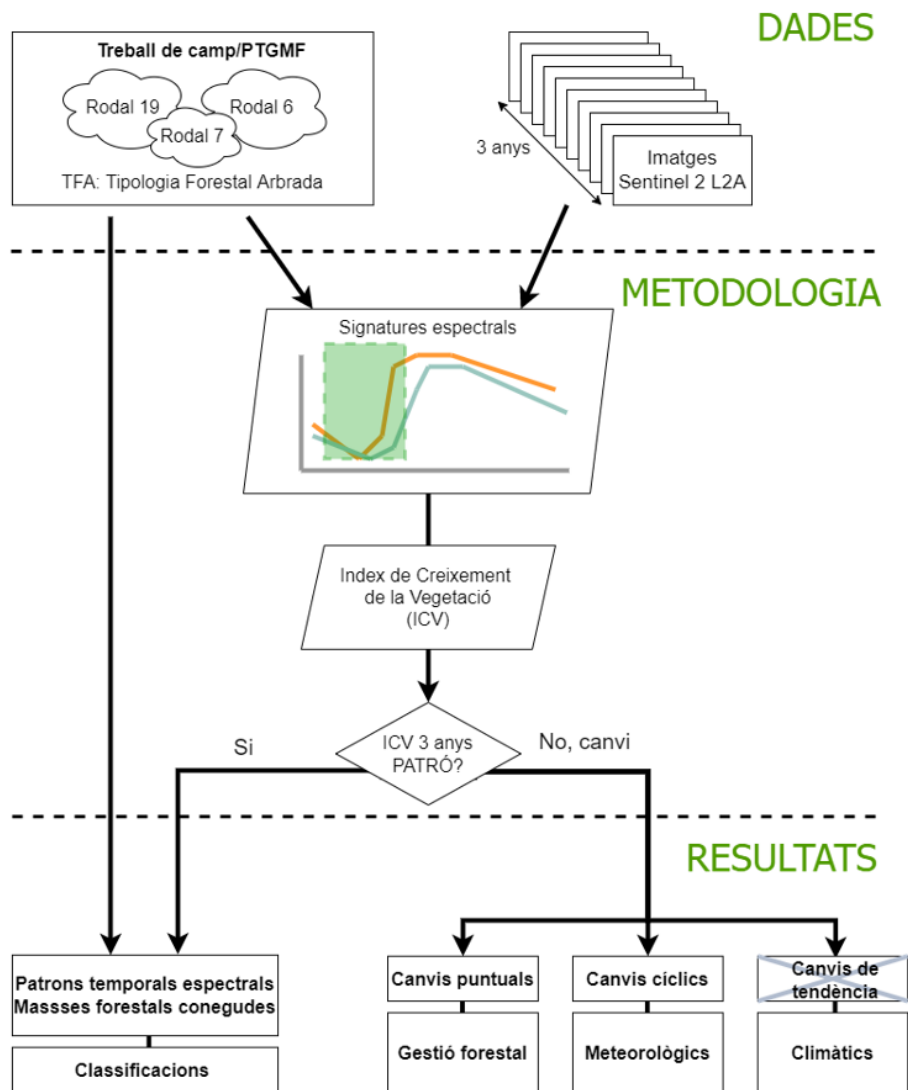
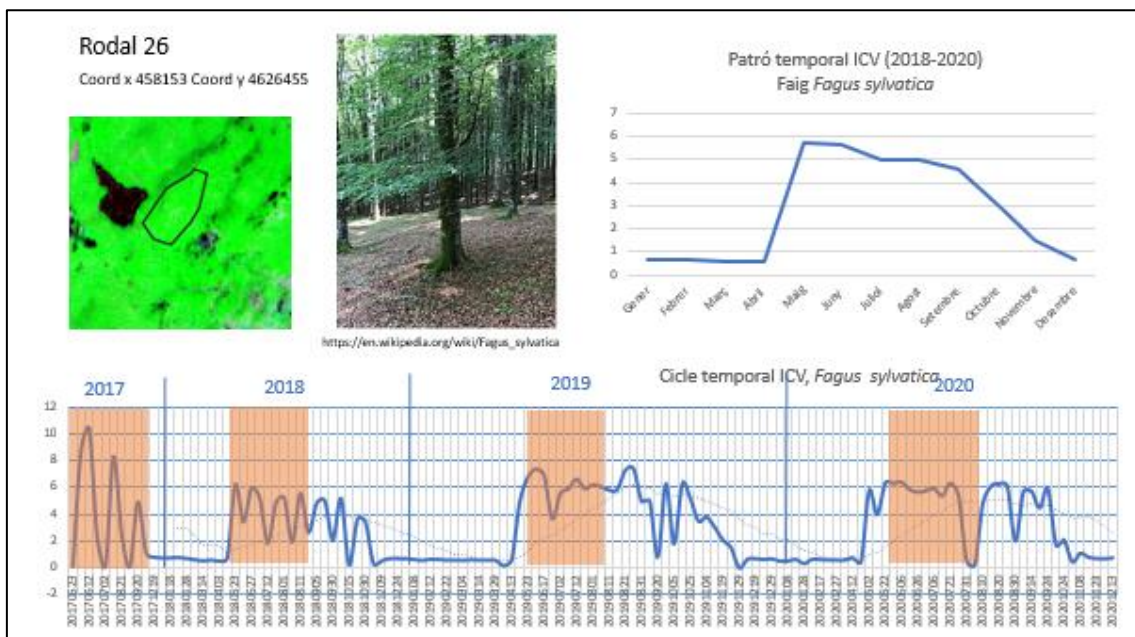


Figura 5-36: Diagrama de flux per la caracterització de les masses boscoses

En aquest treball de Tesi hem pogut determinar canvis puntuals per gestió forestal i la seva evolució, també apuntar a que alguns canvis com la temperatura i precipitació estan marcant aquests patrons de forma anual, en forma de canvis més suaus i de tipus cíclic, en funció de les condicions meteorològiques anuals la resposta del patró temporal de creixement pot variar. Per últim existeixen els canvis de tendència com el canvi d'espècie dominant d'un rodal, els creixements a llarg termini de les mateixes espècies o canvis derivats del clima, entre altres. Aquestes canvis de tendència no es poden observar en una sèrie de tres anys, caldria analitzar una sèrie històrica més àmplia, de varies desenes d'anys.

5.4.6.1 Banc de Patrons Temporals i Espectrals de les espècies arbòries dominants

En aquest apartat el propòsit és obtenir més rodals de TFA per aconseguir més dades de camp fiables en la cerca de nous patrons. En el cas de que no s'obtinguin més TFA es poden buscar noves parcel·les en cartografia temàtica com el Mapa de cobertes del Sòl de Catalunya (MCSC-5) i seleccionar les categories arbrades denses i comprovar com s'adeqüen a la seva pròpia corba temporal i respecte a altres patrons ja establerts, per finalment reclassificar-les. Per posar un parell d'exemples, en la zona d'estudi hem extret dues espècies arbòries que no havíem contemplat fins ara i hem calculat el patró temporal. En la Figura 5-37 es recullen els dos patrons temporals calculats. Un rodal ha estat situat en la fageda de Santa Fe que té el *Fagus Sylvatica* com espècie arbòria dominant i l'altre rodal és una plantació pura de l'Avet de Douglas o *Pseudotsuga menziesii* en la part nord del municipi de Riells.



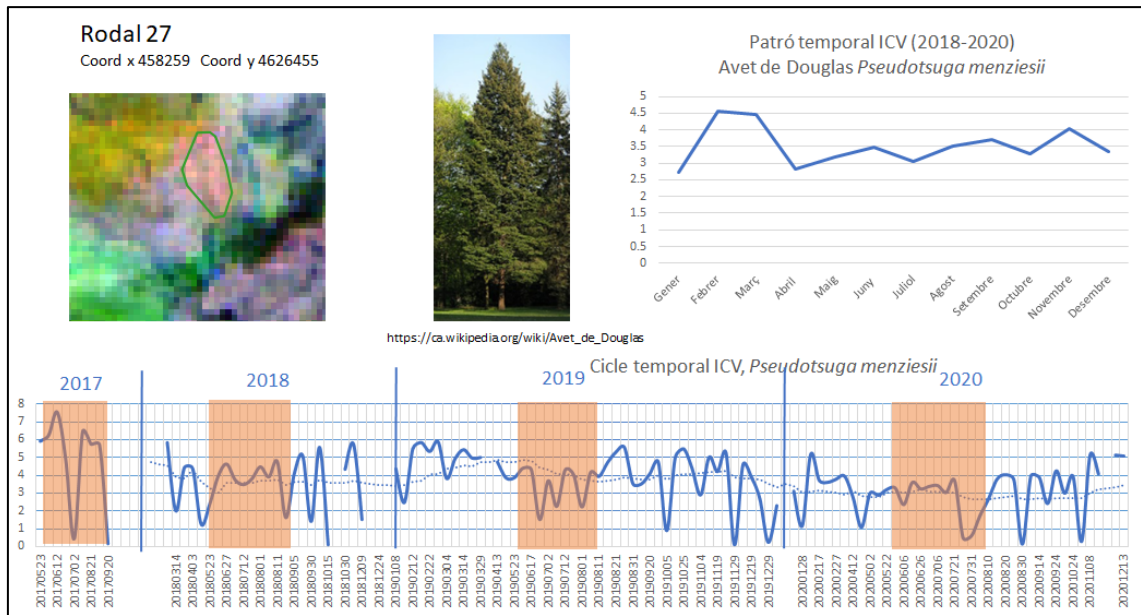


Figura 5-37: Patrons temporals per als arbres *Fagus sylvatica* i *Pseudotsuga menziesii*

Aquestes fitxes de patró temporal formen part del banc de dades, a afegir a les ja calculades anteriorment extreptes de la informació de camp i les signatures espectrals. Si la informació de camp és de bona qualitat el banc de dades amb patrons temporals es densifica ràpidament extraient la signatura del tot el *stack* de ICVs i calculant el patró automàticament.

Amb una densificació adequada servirà d'entrament per realitzar classificacions multitemporals i espectrals. En aquests cas es podrien realitzar tests amb classificadors *Machine learning* o *Deep learning*, però caldria pensar com incloure la component temporal com una variable principal ja que l'ordre seqüencial dels ICVs és el que defineixen realment els patrons.

5.4.6.2 Canvis puntuals de patró temporal

Cada tipus de TFA, si forma part d'un PTGMF, porta associada un conjunt de tasques forestals que es realitzen al llarg dels anys dins el cicle vegetatiu de l'arbrada. Normalment en la mateixa àrea no s'intervé cada any, poden passar diferents anys. En aquesta zona del Montseny un alzinar pot tenir una estassada de matollar cada 4 a 8 anys i una tallada de llenya selectiva cada 14 a 16 anys com referència temporal. Els calendaris de tasques anuals també són diversos, així una tallada de llenya es sol fer a

l'hivern però extreure el suro de l'alzina surera es fa a finals de primavera. Per tant, no es coneix amb exactitud quan es fan aquestes tasques. No obstant, amb l'índex ICV es detecten molts canvis que podem associar a la gestió forestal. Quan un TFA no segueix el patró que li seria assignat és que hi ha un canvi. Normalment és per algun tipus de gestió forestal però també ho podria ser per algun episodi de tipus catastròfic o disruptiu com un incendi forestal, una ventada que ha malmès els arbres o una plaga molt destructiva com l'eruga peluda (*Lymantria dispar*) dels suros i els alzinars. En l'àrea d'estudi tenim diferents exemples. El rodal 12 recollit com a secundari, sense informació de camp, es coneixia que era plantació de *Pinus radiata*, però sembla ser que a l'any 2017, tal i com hem vist a l'índex, va ser talat i ara el rodal es troba en procés de creixement de la vegetació de rebrotada. Durant el període dels tres anys altres rodals han canviat però són canvis també del 2017. En canvi, en la mateixa zona d'estudi hi ha un sector d'alzinar que ha estat tallat selectivament aquests darrers anys tal i com mostrarem en la Figura 5-38. En la combinació fals color que es mostra per a tres dates de cada any similars entre elles, els colors vermells en el bosc indiquen un canvi del mateix any, mentre que els blaus indiquen canvis recents en anys anteriors.

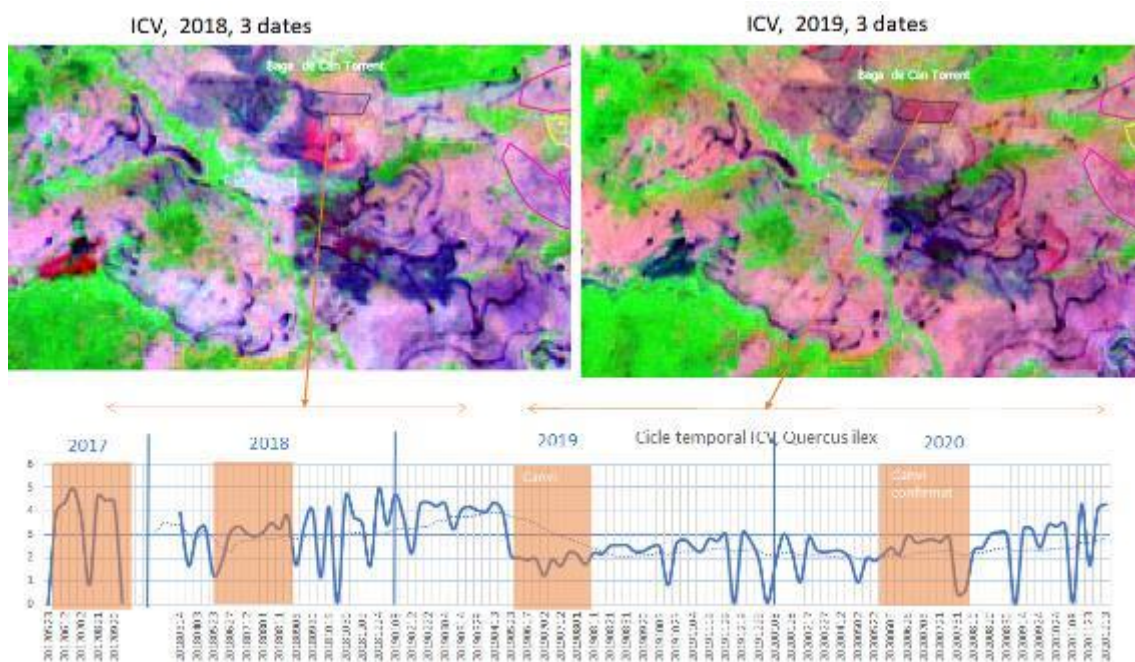
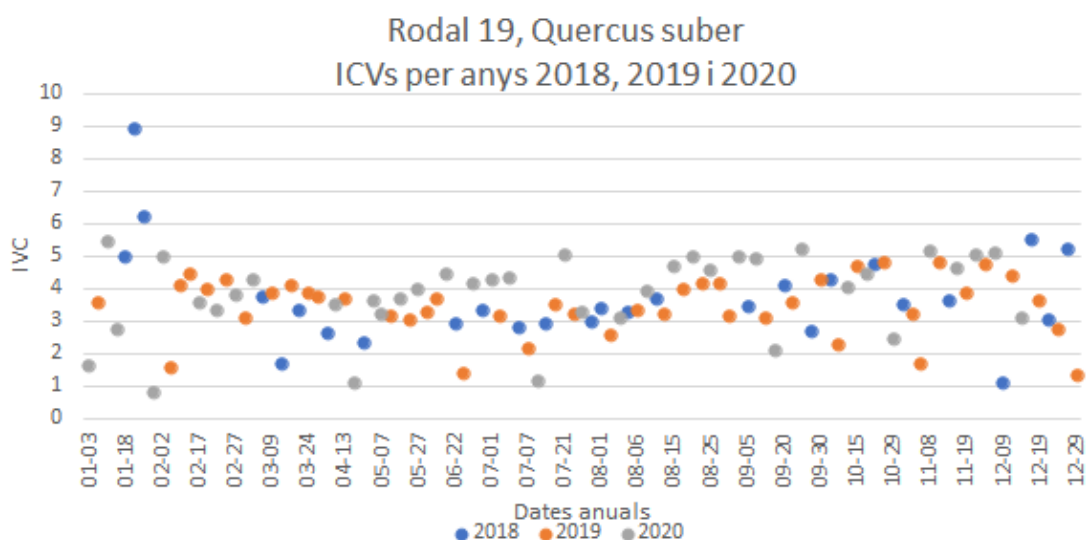


Figura 5-38: Canvis de patró temporal de l'ICV per gestió forestal

En aquesta figura hem destacat el cicle temporal dels tres anys d'un canvi que es produeix el maig de l'any 2019 tal com indica la gràfica. Es selecciona un període de temps similar des del maig fins l'agost (color marró) de tots els anys i es compara entre ells, si l'any següent, en aquest cas el 2020, es confirma la davallada dels anys anteriors al 2019 es pot afirmar que hi hagut un canvi. En aquest sentit, el treball desenvolupat en el marc d'aquesta Tesi, en representa una eina que ens ha de permetre el seguiment d'aquesta tasca forestal en els següents anys i comprovar l'evolució dels creixements segons la resposta espectral de les imatges de satèl·lit futures.

5.4.6.3 Canvis cíclics de patró temporal

Durant la confecció dels patrons temporals s'ha vist com els boscos perennifolis tenien un creixement contingut durant l'estiu i en canvi durant la tardor els creixements eren lleugerament més alts indicant, probablement, que quan tornen a augmentar les pluges i les temperatures són més suaus, les condicions són més favorables al creixement. Per poder confirmar exactament les tendències cícliques anuals caldria fer un seguiment dels patrons temporals anuals, tot i que hem vist que a voltes no hi ha suficients imatges. En la Figura 5-39 es mostra el patró temporal desglossat per cada any del *Quercus suber* del rodal 19. Així mateix, s'inclou els darrers anys de la Fitxa Descriptiva 3 on es recull la informació meteorològica més rellevant.



Any	Dades inventari			Dades meteorològiques			Fotinterpretació orto històrica	
	Data, inventari forestal	Tràca forestal	Inventari, AB m2	Sota 0°C (des de 1994)	Anomalia Temp màximes mitjanes Anomalies PPT mitjanes primavera	Orto tendència bosc doïmant	Orto tendència bosc secundari	Ortos històriques ICGC,
2014	Treball de camp. Inventari pericial		46.09		0.81	1	5	4
2015					1.66	-37	6	5 Bosc dens
2016					0.95	1	7	6 Bosc dens
2017					1.55	-48	8	7 Bosc dens
2018		Estassada, aclarida de millora, lleva de suro, tractament fitosanitari			0.59	35	6	8 Bosc dens,
2019	Esclafit Viabrea			Gen -0.17		-21	7	9 Es veuen molt els pins dels camins
2020	19-23/01/2020 Temporal Glòria					69.2	8	10 Es veuen molt els pins dels camins
2021	Treball de camp. Dendametria		63.93				9	11

Figura 5-39: Comportament anual del ICV per al rodal 19 amb Quercus suber

En la gràfica de representació anual de l'ICV s'observa que la majoria dels valors del 2020 tot i tenir una tendència similar als altres anys estan lleugerament per sobre en moltes dates. Aquest lleuger augment del ICV podria haver-se produït per les pluges ocasionades durant el temporal del Glòria i també les pluges abundants de primavera tal i com indicava l'anomalia de precipitació.

5.4.6.4 *Canvis de tendència del patró temporal*

L'estudi de les sèries temporals de les dades derivades del Sentinel-2, atenent als tres anys, o a molt estirar, dels quatre anys entre el 2017 fins el 2020 de treball, no ens permet estudiar fenòmens de periodicitat acumulada de molts anys, el que podríem dir tendències a llarg termini com els possibles efectes del canvi climàtic a la vegetació. Aquest estudi s'hauria de realitzar amb una sèrie històrica més ampla. Amb el Sentinel-2, ja hem vist que les dades 2017 són limitades i amb correccions atmosfèriques diferents a la resta dels tres anys, i la resta d'imatges només es remunten fins el 2015 amb dades exclusives del Sentinel 2A i sense correccions atmosfèriques.

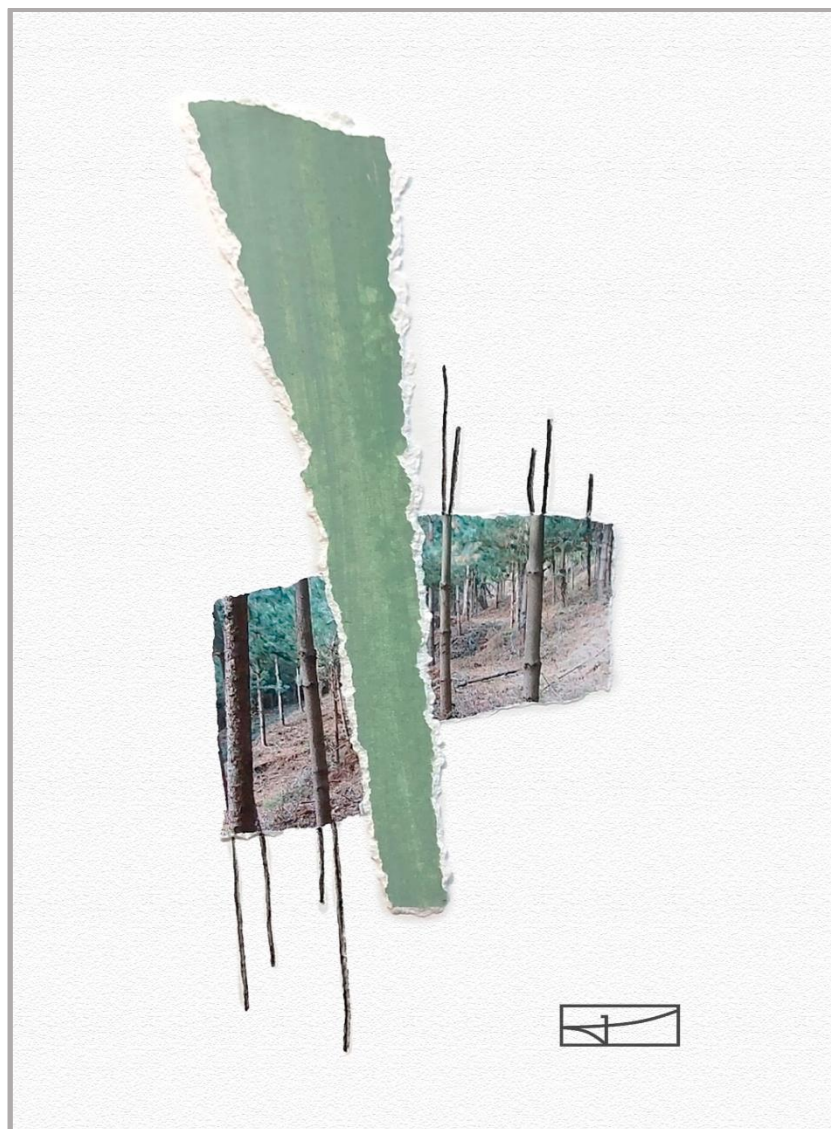
Per proximitat en les característiques tècniques de les imatges es podria fer un estudi temporal amb col·lecció d'imatges Landsat que hem descarregat per aquesta zona. Per aplicar la metodologia estudiada al conjunt d'imatges Landsat caldria fer alguns canvis i veure la possible continuïtat amb els resultats.

Els canvis principals serien:

1. **Pèrdua de resolució espacial:** La mida del píxel per totes les bandes espectrals comunes amb el Sentinel -2 és de 30 metres. Caldria estudiar quina àrea mínima de rodal podria estudiar-se per evitar els píxels mixtos de les zones veïnes.
2. **No es podria aplicar l'ICV:** La manca de bandes espectrals a la zona del *red edge* implica que no es pot aplicar exactament aquest índex. Però és cert que hem observat respostes molt similars amb el RVI on les bandes espectrals coincidien. Caldria comparar els resultats.

Aquesta metodologia es podrà aplicar en col·leccions d'imatges que tinguin bandes situades on és més sensible la resposta espectral de la vegetació i quan la seva freqüència temporal sigui alta, per exemple, dues imatges mensuals de bona qualitat i la repetició sigui com a mínim de tres anys. Amb aquestes dades es podran consolidar patrons temporals anuals de masses forestals madures i estables, i a partir d'aquí buscar els canvis puntuals, cíclics o de tendència a llarg termini.

6 VALORACIONS I CONCLUSIONS



Rodal 14: Plantació de *Pinus radiata* després d'aclarida de peus i una poda de formació
(2004)

(tècnica mixta, acrílic, fotografia i creta)

6.1 Valoracions i conclusions generals

Després del treball d'investigació d'aquesta Tesi i dels resultats obtinguts cal fer una primera valoració global. Quan es va iniciar la Tesi es va treballar amb la hipòtesi de què les noves dades de satèl·lits i els nous avenços en els programaris de tractament d'imatges i dades podrien obrir una finestra d'oportunitat per estudiar les formacions arbrades de forma localitzada en una part del massís del Montseny amb el propòsit de poder relacionar la informació espectral de les imatges de satèl·lit i poder obtenir patrons temporals i espectrals. Durant tota la redacció hem descrit pas a pas tots els processos per demostrar que aquestes relacions existeixen i que es poden modelar.

El propòsit comportava un repte important, només cal repassar la bibliografia relacionada amb la determinació de masses forestals al boscos mediterranis per mitjà de l'Observació de la Terra recollida en aquesta Tesi i veure que ni és molt abundant ni els resultats són concloents. En bona part és degut a la manca d'imatges d'Observació de la Terra amb suficient espectralitat amb resolucions espacials baixes i amb una freqüència de revisita molt baixa.

Però aquest escenari està en profund procés de canvi i algunes de les valoracions concretes d'aquest treball ho demostren. En concret ens hem centrat en 129 imatges del Sentinel-2 del Programa de Copernicus de l'ESA per la zona d'estudi des de l'any 2017 fins el 2020. Les imatges tenen un alt nivell de correcció, que correspon al L2A on inclou les correccions radiomètriques, geomètriques i atmosfèriques per obtenir els valors de reflectàncies de les cobertes, en aquest cas de les cobertes forestals amb una especial dedicació a les masses arbrades.

Aquest conjunt d'imatges han estat estudiades per un petit conjunt de masses arbrades al sud-est del Montseny, en les parts altes dels municipis de Riells i Viabrea i Gualba. Són boscos situats als estatges de mitja muntanya on es troben hàbitats, segons la Cartografia d'Hàbitats de Catalunya, molt comuns com alzinars, suredes, castanyedes i plantacions de coníferes, tots ells reconeguts com hàbitats d'interès comunitari.

Les masses arbrades han estat classificades com a Tipologies Forestals Arbrades segons la nomenclatura ORGEST gràcies als inventaris forestals que hem realitzat durant

diferents moments en les últimes tres dècades. Les masses arbrades que contenen treball de camp, portat a terme i exposat per aquest treball de Tesi, en són 11 i han estat delimitades com a rodals principals amb unes superfícies que oscil·len entre 1 i 8 Ha. S'han afegit un conjunt de rodals secundaris identificats per fotointerpretació a l'ortofotomapa i visita al camp per ser comparats amb els primers segons els resultats.

Amb els rodals principals s'han identificat sis TFA de les quals cal destacar quatre espècies arbòries dominants, són l'alzina (*Quercus ilex sp. ilex*), l'alzina surera (*Quercus suber*), el castanyer (*Castanea sativa*) i el pi insigne (*Pinus radiata*).

S'han escollit els quatre rodals més representatius on aquestes espècies arbòries tinguin una àrea basal alta, aproximadament més gran del 70% i una fracció cabuda coberta superior al 80% obtenint a nivell de capçades una homogeneïtat alta per ser detectada espectralment per a les imatges de satèl·lit.

Amb aquests quatre rodals es va iniciar una anàlisi del comportament espectral sota una perspectiva temporal de quatre anys, des del 2017 al 2020, seleccionant les millors imatges a nivell geoespacial de rodal. Segons els resultats obtinguts s'ha aplicat als altres rodals i a l'àrea geogràfica d'interès que engloba tots els rodals.

En concret, l'anàlisi es basa en l'estudi de la reflexió espectral de les capçades de formacions boscoses denses i no de les fulles individuals, per tant, és la resposta espectral d'un conjunt d'arbres amb unes estructures i densitats de fulles diverses i amb una possible influència del sotabosc per mencionar dos dels elements físics més clars que estan formant part d'aquest senyal. A més, cal afegir que són cobertes dinàmiques i durant l'any la seva resposta espectral canvia segons el seu cicle fenològic i el període vegetatiu.

Per tant, l'anàlisi es basa en l'estudi de comportament espectral estudiat dins la sèrie temporal de quatre anys d'imatges Sentinel-2 on cada any s'ha considerat com un cicle fenològic. Tot i que a nivell de treball de camp es compte amb informació de tres dècades i a nivell de dades meteorològiques extretes de d'estacions properes s'han aconseguit sèries de dades històriques de 70 anys que ajudaran a interpretar els resultats de la sèrie estudiada amb Sentinel-2. L'interval mínim de la sèrie és entre les dates de

les 129 imatges Sentinel-2 però també s'han fet càlculs en agrupacions periòdiques com mesos o anys.

Per a l'estudi de les sèries temporals, ens hem centrat en la interpretació numèrica de les estadístiques bàsiques de la resposta espectral a nivell de rodal, especialment per a la mitjana i la seva variància i la seva posterior interpretació gràfica amb series temporals per comprovar la seva possible estacionalitat durant l'any pel seu cicle vegetatiu.

El treball portat a terme ens permet extreure un conjunt de valoracions i conclusions a nivell espectral i temporal derivades del nou model d'anàlisi temporal de les dades espectrals i de l'estudi dels seus canvis. A continuació s'enumeren les valoracions i conclusions més rellevants.

6.1.1 Variabilitat espectral

- 1. La comparativa amb sèries temporals d'imatges Landsat 8 i Sentinel-2 és factible, per estudiar les masses arbòries tenint en compte les diferències espectrals:** L'estudi comparat d'aquestes grans col·leccions pels nivells de valor de reflectància ens demostra que els resultats no són exactament igual per als mateixos rodals. S'han trobat diferències no són superiors al 5% per a les mateixes cobertes al mateix dia. Això fa pensar que en una sèrie històrica més llarga es podrien usar imatges Landsat 8 en zones arbrades detectables amb la resolució espacial de 30 metres.
- 2. Signatures espectrals Sentinel-2 similars per a diferents espècies arbòries:** S'han calculat i representat les signatures espectrals de totes les imatges per cada rodal principal i s'ha comprovat que el comportament espectral durant l'any és diferent a altres espècies i, en canvi, són similars entre la mateixa espècie. Però també s'ha comprovat que quan més semblen les signatures espectrals entre espècies arbòries és a la primavera i estiu quan les imatges Sentinel-2 són de més bona qualitat perquè el sol es troba més perpendicular al terreny i il·lumina de forma més uniforme totes les cobertes. Aquesta similitud genera confusió espectral en les imatges de la primavera i estiu. Tampoc han estat concloents les mitjanes anuals de les signatures espectrals de cada espècie. Tenen valors de reflectància similars, especialment el *Quercus ilex*, *Quercus suber* i *Pinus*

radiata que no superen el 25% en els valors màxims de radiància. Només el *Castanea sativa* arriba fins a 30%.

- 3. Generació de gran volum de dades si es consideren totes les bandes espectrals:** Per a les imatges Sentinel-2 a nivell L2A hem considerat 10 bandes espectrals entre l'espectre visible i l'infraroig. Això implica multiplicar per 10 cada imatge de cada data a estudiar. A mida que l'àmbit territorial a estudi sigui més gran que uns pocs rodals el volum d'informació és molt alt tant per la seva computació com per la seva interpretació i/o validació a nivell d'analista. És necessari centrar-se, detectar i treballar/reduir en aquelles bandes que aporten un valor afegit o diferencial, tal i com s'ha argumentat en aquest treball.

6.1.2 Variabilitat temporal

- 1. La reducció espectral a partir dels índexs de vegetació de bandes amples com NDVI, GNDV, EVI, RVI i altres per identificar les masses arbòries al llarg dels tres anys no és suficient:** Per reduir el volum d'informació es van calcular alguns dels índex de vegetació més usats en teledetecció i que podien ajudar a diferenciar les masses arbòries. Els diferents índexs es van aplicar per a totes les imatges pels rodals d'interès i es van comprovar diferències entre ells però cap va ser prou assertiu per determinar les cobertes. Una de les conclusions més clares al aplicar aquests índexs al llarg del temps és que l'NDVI mostra poca sensibilitat als canvis fenològics i la presència de vegetació vigorosa dona una resposta molt similar durant l'any.
- 2. Creació de l'Índex de Creixement de la Vegetació centrat en les bandes del verd fins el *red edge* que és un bon indicador *proxy* per mesurar els canvis fenològics de les cobertes arbòries:** Es van analitzar el canvis i tendències de les bandes més sensibles als canvis de la vegetació i es va crear un índex basat en les variacions percentuals entre les quatre bandes del Green, Red, Red Edge 1 i Red Edge 2 del Sentinel 2 amb la següent fórmula:

$$ICV = \frac{RE1 - Red}{Red} + \frac{RE2 - RE1}{RE1} - \frac{Red - Green}{Green}$$

L'ICV aplicat a tot el conjunt d'imatges s'ha mostrat més sensible a les variacions intra-anuals derivades del cicle vegetatiu que la resta d'índexs analitzats en comparació als rodals que tenim determinats pels inventaris forestals.

- 3. Creació de patrons temporals de l'ICV per espècies arbòries denses a partir de sèries temporals:** L'aplicació de l'ICV per a totes les imatges ha mostrat inicialment que tot i reduir la variància del senyal, les sèries segueixen tenint una certa variació de l'índex que no prové només de la coberta vegetal sinó probablement de correccions atmosfèriques mal aplicades. Aleshores, per a les cobertes arbòries sense intervenció forestal durant tres anys s'ha fet una agrupació mensual dels tres anys de l'índex que permet veure el cicle estacional de cada espècie amb claredat. En la Figura 6-1 es mostren quatre patrons temporals calculats amb l'ICV de les imatges Sentinel-2 de l'any 2018 al 2020.

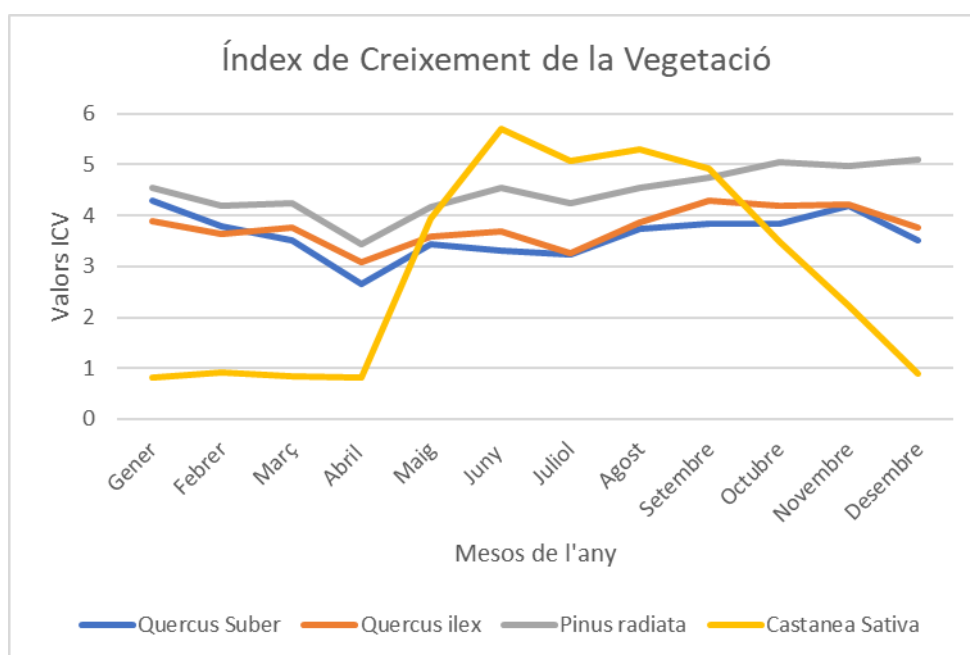


Figura 6-1: Patrons temporal de l'ICV per a quatre cobertes arbòries del sud-est del Montseny

Aquests patrons temporals s'han mantingut per a les diferents rodals estudiats.

4. Sèries temporals de l'ICV per detectar canvis puntuals, disruptius i cíclics:

Canvis com tasques de gestió forestal, malures o plagues, decaïment, efectes de tipus catastròfic produïts per ventades, sequeres, etc. es podran detectar ja que durant l'aplicació d'aquest índex hem pogut detectar les zones de gestió forestal dels darrers tres anys a l'àrea d'estudi. El canvi sobtat de les aclarides d'alzinar properes als rodals d'estudi i les tallades d'arreu del pi insigne en un rodal secundari s'han detectat correctament amb l'aplicació de l'ICV al llarg del temps. Per confirmar el canvi és important també comparar l'any anterior i posterior que validen i mostren l'evolució del canvi.

5. Sèries temporals de l'ICV analitzades anualment apunten a valors sensibles

al canvis de temperatures i precipitacions: Els creixements lleugerament més alts dels perennifolis fora de l'estiu podrien indicar l'estrès de les temperatures fortes sobre el seu creixement com un factor limitador. També les dades comparades entre els tres anys indicarien que l'any 2020 molts valors de l'índex són lleugerament més alts que els anys anteriors segurament degut a un augment de les precipitacions gairebé tot l'any. L'aplicació de l'índex en els propers anys hauria de confirmar aquesta primera aproximació.

6. Aquesta sèrie temporal és massa curta per indicar tendències sobre els

creixements de les masses arbòries o possibles efectes del canvi climàtic: Per detectar un canvi a llarg termini o tendència hauríem de confeccionar una sèrie històrica més llarga i veure els resultats. Inicialment es va considerar realitzar-ho amb les imatges Landsat però, donat que l'índex ICV considera la part espectral del *red edge* que no es troben en les bandes d'imatges Landsat i la pèrdua de resolució espacial, no s'ha contemplat en el marc d'aquesta Tesi.

6.1.3 El model de classificació

1. Confeccionar un banc de patrons temporals de les cobertes boscoses amb

espècies arbòries dominats: si es disposa d'un conjunt de dades que confirmi el tipus de massa arbrada densa com poden ser les catalogades per TFA o altres es poden usar com rodals de base per buscar patrons temporals similars a les zones properes o del mateix hàbitat segons el Mapa d'Hàbitats de Catalunya. Aquests

patrons podran servir com a mostres tipus o d'entrenament en classificacions supervisades i/o conjunts d'entrenament per a arquitectures d'intel·ligència artificial que es puguin aplicar a les imatges i a les sèries temporals que es puguin compilar.

2. **Model de classificació basat en la comparació temporal:** Existeix molta confusió espectral en les cobertures forestals i això es reflecteix en els models classificats d'imatges de satèl·lit actuals. L'aproximació o model proposat en aquesta Tesi pretén prioritzar el component temporal per poder discriminar les masses forestals arbrades i els seus canvis, ja que l'aplicació de l'ICV ha mostrat poder trobar diferències al llarg de l'any entre diferents masses forestals.

6.1.4 Sinergia OT i treball de camp

1. **L'estudi temporal de les masses arbòries amb imatges de satèl·lit simplifica la cerca de treball de camp per catalogar tots els boscos:** El treball demostra que un bosc dens, estable, sense intervenció forestal no varia espectralment el suficient durant tres anys per trobar diferències intrínseques a la massa vegetal dins el cicle de vida de l'arbre. Cal pensar que la vida d'un arbre pots ser de moltes desenes d'anys i fins i tot de centúries. Això permet acumular la informació espectral derivada de l'aplicació de l'ICV de la sèrie temporal de tres anys, que agrupada en mesos genera suficient informació per descriure el cicle vegetatiu anual de l'arbrada, anomenant-la com a patró temporal. Aquests patrons temporals espectrals ajudaran a identificar nous patrons amb la mateixa tècnica amb altres espècies forestals reduint el cost inicial d'obtenir grans volums d'informació al camp o veritat de camp. Més quan obtenir informació a camp actualitzada és molt complicat en entorns forestals de difícil accés i de manca de visió de conjunt de les cobertes altes i heterogènies, entre els factors més limitadors.
2. **El càlcul de l'ICV al llarg del temps s'ha mostrat vàlid per la detecció de canvis simplificant el treball de camp de validació:** La sèrie temporal de

l'ICV durant tres anys ha detectat les zones de canvi degudes a gestió forestal com estassades i aclarides d'arbres i zones amb tallades arreu. És molt probable que per altres canvis no produïts durant aquest període però que poden afectar el creixement vegetatiu de la massa forestal també es podrien detectar com episodis de sequeres, glaçades extemporànies o plagues, per citar alguns dels canvis que poden patir puntualment els boscos. Aquesta detecció estalviaria molta validació a nivell de treball de camp pels tècnics i responsables del seguiment dels boscos i àrees forestals.

6.2 Conclusió final

Amb aquest treball de tesi hem pogut demostrar que a partir de l'anàlisi de les respostes espectrals de la vegetació al llarg de tres anys complets d'imatges Sentinel-2 es poden trobar patrons temporals del comportament de les masses forestals amb espècies arbòries dominants al sud-est del Montseny. Per aconseguir aquests patrons cal informació de camp fiable i verdadera de la zona per poder identificar els rodals amb diferents tipologies de boscos i aplicar l'índex de Creixement de la Vegetació (ICV), dissenyat durant la cerca d'aquesta Tesi, per a totes les imatges de tres anys del Sentinel-2 amb correccions atmosfèriques aplicades prèviament (nivell L2A).

El model de treball de camp d'aquesta tesi s'ha basat en les mesures dendromètriques realitzades a les masses forestals estudiades per diferents inventaris forestals al llarg del temps, que ens ha permès considerar l'àrea basal, la freqüència de peus majors per hectàrea i la fracció de cabuda de la coberta com les mesures bàsiques per determinar les TFA de cada rodal. Aquestes dades de camp són necessàries tant per l'aplicació del model com per la posterior validació.

El patró temporal ha mostrat ser sensible als canvis del període vegetatiu dels arbres dominants que es relaciona directament amb la seva fenologia. Això implica que la mateixa tècnica es pot usar per buscar nous patrons d'altres espècies arbòries dominants per continuar amb les masses mixtes.

L'aplicació de l'ICV per cada data dins de l'any i en comparació a l'any anterior i any següent també ha mostrat ser una eina vàlida per detectar correctament els canvis puntuals o disruptius a les masses forestals com tasques forestals.

Aquests resultats derivats de l'anàlisi temporal de la resposta espectral de les cobertes boscoses al sud est del Montseny obren un nou horitzó de factibilitat, viabilitat i usabilitat, en altres paraules d'innovació i valor afegit, en la producció de cartografia temàtica dels nostres boscos a partir de l'Observació de la Terra i es mostra com una eina vàlida per a la detecció de canvis en les masses forestals a curt termini.

Factors fonamentals de la distribució dels vegetals com la temperatura i precipitació (humitat) sembla que també poden afectar a la resposta espectral i, per tant, podrien explicar els petits canvis en les corbes en els patrons temporals anuals de l'ICV. L'estudi té una dimensió temporal curta que no li permet trobar tendències a llarg termini del canvis a les masses forestals, tot i que no es descarta la seva possible vàlua en estudis de llarg recorregut.

L'aplicació d'aquest mètode en estudis de l'Observació de la Terra com en les classificacions espectrals a partir d'aquests patrons temporals per diferents tècniques de *machine learning* i *deep learning*, la detecció de canvis en les sèries temporals, l'aplicació de sèries temporals a imatges d'altres programes de satèl·lit amb suficient resolució espectral, espacial i temporal seran una font d'informació vàlida pels estudis dels boscos, la seva dinàmica i esdevenir una eina de suport a la decisió pels planificadors i *policy-makers*.

7 FUTURES LÍNIES DE TREBALL



Rodal 19 Sureda nord. Rata cellarda fotografiada amb càmera infraroig l'hivern de 2017
(tècnica mixta, acrílic, fotografia i creta)

7.1 Noves capes d'informació i millores del model

Un cop finalitzades les valoracions i conclusions dels resultats de la Tesi s'obren noves possibilitats per continuar millorant el model d'aproximació temporal per classificar i detectar canvis a les masses forestals en funció de la informació espectral i per explotar diferents aplicacions temàtiques que puguin ser d'utilitat a l'usuari final.

A continuació recollim algunes propostes concretes que podrien millorar els resultats obtinguts en el marc d'aquesta Tesi.

1. **Seguiment fenològic de les espècies arbòries dominants dels nostres boscos per seguir el canvi climàtic:** El treball de tesi demostra que el model és sensible al cicle fenològic de les cobertes arbòries. Planificar un seguiment conjunt amb les observacions que es puguin obtenir de la Xarxa Fenològica de Catalunya (Fenocat) impulsada per Servei Meteorològic de Catalunya. Podria ajudar a entendre els canvis i distribució de la vegetació a nivell de boscos. També, ser una bona eina per complementar el treball de camp i generalitzar-lo en les zones estudiades similars. A l'hora, aquestes observacions podrien ajudar a millorar els patrons temporals del model. Algunes dades addicionals que podrien millorar els resultats seria incloure les dades de temperatura, precipitació i tipus de sòl que caracteritzen a la massa boscosa per entendre els comportaments fenològics.
2. **Eina de seguiment i validació per a la gestió forestal sostenible, per a les malures o plagues i altres pertorbacions sobre la vegetació:** Els patrons temporals han estat concebuts a partir del treball de camp que ha classificat les masses forestals segons les Tipologies Forestals Arbrades (TFA). Aquesta classificació és seguida per molts gestors forestals en els seus plans d'ordenació. Per tant, els patrons temporals es poden calcular a partir de les TFA però també poden donar suport al seguiment de les tasques o canvis que es puguin percebre dels canvis de l'índex ICV. La seva detecció pot donar suport a tècnics i responsables del seguiment de les masses forestals actuals i poder validar les certificacions forestals sostenibles i gestionar els ajuts econòmics a la millora forestal.
3. **Estudiar una sèrie històrica de patrons temporals adaptant el model a la col·lecció d'imatges Landsat per poder estudiar els possibles efectes del**

canvi climàtic a les masses forestals: Com s'ha descrit en el treball, la detecció de patrons temporals es realitza a partir de l'índex ICV on participen quatre bandes espectrals de les imatges Sentinel-2. Dues bandes es troben en una fina zona espectral de l'infraroig anomenada *red edge* per recollir el ràpid canvi radiomètric de la vegetació amb més vigor. Aquestes dues bandes no estan incloses en les imatges multiespectrals Landsat. A més, la resolució especial del Landsat també empitjora amb píxels de 30 metres. Tot i així, el fet d'haver trobat patrons temporals d'aquests darrers anys han de servir com entrenament i pauta per buscar-los en una sèrie històrica de més llarg recorregut. Caldria adaptar el model a un altre índex amb bons resultats i canviar la mida dels rodals amb perímetres més grans per evitar la confusió espectral dels píxels mixtes de diferents cobertes. L'estudi d'una sèrie temporal més llarga podria ajudar a trobar canvis de tendència de llarg recorregut en els nostres boscos.

- 4. Classificació dels patrons temporals i espectrals a partir d'intel·ligència artificial o altres algorismes classificadors per realitzar el seguiment global del territori:** Per poder determinar les masses forestals arreu del territori mitjançant classificadors espectrals és necessari obtenir un bon conjunt d'àrees d'entrenament. Hem descrit com realitzar un treball de camp amb mesures dendromètriques per obtenir rodals ben etiquetats i després poder trobar patrons temporals. Si el procés es fa amb la dedicació suficient, inicialment aquests patrons poden servir per trobar noves àrees d'entrenament sense informació de camp addicional. També cal tenir en consideració, que allò classificat pot incloure les bandes espectrals originals o, per exemple, els ICV agrupats per mesos generant 12 capes per any i simplificant el volum de dades. Però, sense dubte, per augmentar la qualitat del classificat cal incloure una capa amb el Model Digital del Terreny i, especialment, el Model d'Alçades de les Capçades (*Canopy High Model*) per poder diferenciar els diferents entorns forestals per alçades i evitar la confusió espectral. La missió de satèl·lit GEDI de la NASA està obtenint dades LiDAR i calculant totes les mètriques d'alçada de la vegetació de forma molt ràpida però el recobriment no és suficient en molts territoris i la localització geogràfica de la dada és un xic imprecisa pel nostre

treball. Mentrestant es poden usar dades d'altura que estiguin a disposició. En el cas del Montseny es podran afegir les dades LiDAR actualitzades de l'ICGC en properes cobertures LiDAR, no disponibles en el moment de realització d'aquest treball.

- 5. Millora i explotació del model en altres col·leccions d'imatges de satèl·lit que es trobin disponibles en un futur:** En un futur molt immediat podrem disposar de noves dades de satèl·lit amb sensors òptics hiperespectrals que obtindran imatges amb desenes o centenars de bandes en l'espectre visible i infraroig. Un exemple és la missió PRISMA de l'Agència Espacial Italiana que ja està recollint i processant imatges de 239 bandes de gran qualitat, tot i que encara no es disposen per a qualsevol territori. Aquesta resolució espectral tan elevada portarà nous avantatges en la caracterització de les masses forestals i reforçarà els patrons temporals calculats per les imatges actuals de treball, amb més revisita i més resolució espacial però pitjor resolució espectral. En un altre direcció, però d'importància molt rellevant per als estudis del boscos i el model que es proposa és el proper llançament del satèl·lit d'Observació de la Terra de l'estratègia NewSpace de Catalunya. Aquest satèl·lit amb set bandes molt similars a set bandes de les imatges Sentinel-2 que també inclouen la zona de *red edge* però amb una resolució espacial més alta i un temps de revisita també curts. Amb aquesta nova col·lecció d'imatges és molt probable que l'aplicació dels patrons temporals que hem descrit en aquest treball es podrien aconseguir resultats cada cop més acurats.

7.2 Noves plataformes d'Observació de la Terra: GENE0

Com s'ha constatat al llarg d'aquest treball de Tesi, les dades d'Observació de la Terra en representen un actiu clau. En aquest sentit, podem afirmar que existeix un espai d'oportunitat d'innovació tecnològica, operacional i de prestació de serveis molt

rellevant en el nou escenari que plantegen els petits satèl·lits. Els petits satèl·lits, encara més quan es despleguen com a constel·lació, són un “nou” vector de sensors d’Observació de la Terra, i per tant exposat, com qualsevol altre enfocament de captació de dades, amb els seus avantatges i desavantatges:

- Els costos més baixos permeten que les arquitectures de constel·lació siguin més viables i comporten potencials millores en el temps de revisita.
- Nous actors de la comunitat d’Observació de la Terra poden desenvolupar noves capacitats i actius a la frontera estratègica de l’espai, amb riscos menors que grans missions subjectes a grans agències
- Es pot demostrar amb menys riscos la viabilitat de noves visions tecnològiques i/o demostradors científics.

Amb la finalitat d’establir les potencialitats del segment espai NewSpace i en particular pel satèl·lit d’Observació de la Terra de l’estratègia NewSpace Catalunya, anomenat en el moment de la redacció d’aquest treball de Tesi com a GENE0, amb data prevista de posta operativa pel segon quadrimestre de 2022, s’ha portat a terme, una tasca d’anàlisi preliminar de les potencials prestacions de GENE0 en l’àmbit de l’estudi dels boscos.

Aquest treball s’emmarca dins les tasques assignades a l’Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya en l’estratègia NewSpace i en l’àmbit dels boscos, la tasca d’anàlisi GENE0 ha estat portat a terme per part de qui signa aquesta Tesi. A mode de resum executiu s’exposen a continuació els resultats preliminars amb la voluntat d’incorporar una primera visió de futures línies de treball que esdevindran.

A partir de l’espectralitat i de les dades nominals especificades pel satèl·lit GENE0 s’han generat imatges de treball per a veure les competències i complementaritats potencials respecte l’activitat de l’addenda referent a la fusió amb Sentinel-2.

Per portar a terme aquesta comparativa, s’han simulat, seguint les bandes espectrals licitades per a GENE0, imatges a partir d’un vol aeroportat realitzat per l’ICGC amb el sensor hiperespectral AISA-EAGLE II, que cobreix la mateixa regió de l’espectre.

Les imatges originals AISA han estat preprocessades amb les correccions geomètriques, radiomètriques i atmosfèriques pertinents per poder integrar les seves bandes hiperespectrals AISA i acomodar-les a les bandes del sensor de GENE0 (Figura 7-1).

Espectre electromagnètic	Banda	GENEO		GENEO simulat a partir de les bandes AISA	
		Centre banda	Mida pixel	Centre banda	Mida pixel
Blau	1	490	4-5 m	490.77	4 m
Verd	2	560	4-5 m	559.98	4 m
Vermell (RED)	3	655	4-5 m	665.13	4 m
Rededge (RE1)	4	705	4-5 m	704.64	4 m
Rededge(RE2)	5	740	4-5 m	739.53	4 m
Infraroig (NIR1)	6	783	4-5 m	783.02	4 m
Infraroig (NIR2)	7	842	4-5 m	842.41	4 m

Figura 7-1: Característiques espectrals AISA a GENE/Simera

En la Figura 7-2 es mostra la passada original de la imatge AISA sobre el mapa topogràfic però simulant la resolució espacials de GENE amb tres bandes integrades de l'infraroig del sensor (RE1, RE2 i NIR1). Els polígons marquen algunes masses forestals amb espècies arbòries dominants que han servit com si fos informació de camp per extreure la informació espectral simulada de GENE.

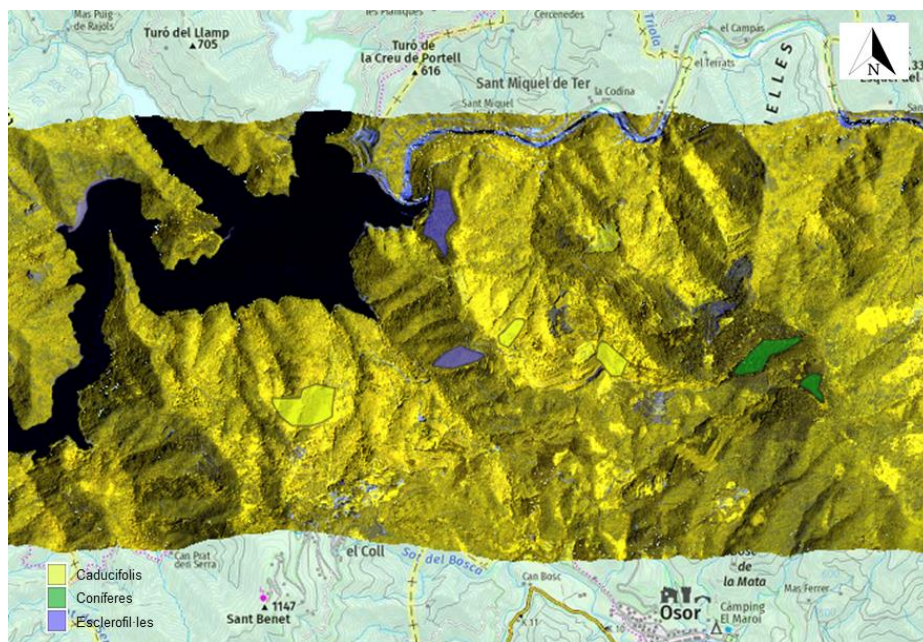


Figura 7-2: Imatge fals color GENE simulada sobre mapa topogràfic, amb mostres de cobertes tipus seleccionades per a l'anàlisi espectral comparat

Les bandes de GENEÓ es situen a l'espectre visible, a la "vora vermella" (*red edge*) i a l'infraroig proper. Són zones de l'espectre claus per estudiar les diferents cobertes terrestres, amb la zona del *red edge* (bandes RE1 i RE2) sent especialment significativa per estudiar la tipologia i l'estat de la vegetació.

Tot i què restem a l'espera de la resposta real radiomètrica i geomètrica del sensor SIMERA en la plataforma GENEÓ, en una primera valoració, podríem dir, com a resultat de les simulacions, que la missió GENEÓ ofereix els avantatges principals següents respecte Sentinel-2 en l'àmbit d'estudi de les masses forestals:

- Millora de la resolució espacial en totes les bandes
- Dades en el *red edge* espectral per a l'estudi de la vegetació amb la mateixa mida de píxel
- Millora del temps de revisita respecte a Sentinel -2 o les imatges Landsat 8 i 9

En la Taula 7-1 es poden observar les característiques comparades entre les missions Landsat i Sentinel-2 amb la propera missió de GENEÓ (Estratègia NewSpace)

Taula 7-1: Comparativa GENEÓ simulat, respecte Landsat i Copernicus, en termes d'espectralitat i GSD

Missió espacial	Programa Newspace			Landsat Program (NASA/USGS)			Copernicus Program (ESA)		
	GENEÓ			Landsat 8 i 9			Sentinel 2A i 2B		
Satèl·lit	Bandes	Centre banda	píxel (m)	Bandes similars	Centre banda	píxel (m)	Bandes similars	Centre banda	píxel (m)
Blau	1	490	4,5	2	482.5	30	2	492.4	10
Verd	2	560	4,5	3	562.5	30	3	559.8	10
Vermell	3	655	4,5	4	655	30	4	664.6	10
Rededge	4	705	4,5		Null		5	704.1	20
Rededge	5	740	4,5		Null		6	740.5	20
Infraroig	6	783	4,5		Null		7	782.8	20
Infraroig	7	842	4,5	5	865	30	8 i 8a	832.8 i 864.7	10 i 20

A partir de la definició de mostres o zones d'interès de diferents tipus de cobertes arbòries, caducifolis, escleròfil·les i coníferes, s'han analitzat i comparat els perfils espectrals d'aquestes mostres en la imatge simulada GENE0 (data de vol 25/06/2021) i en la Sentinel-2 (data d'adquisició 26/06/2021), per analitzar-ne el comportament (Figura 7-3: Perfils espectrals per a les diferents cobertes arbòries).

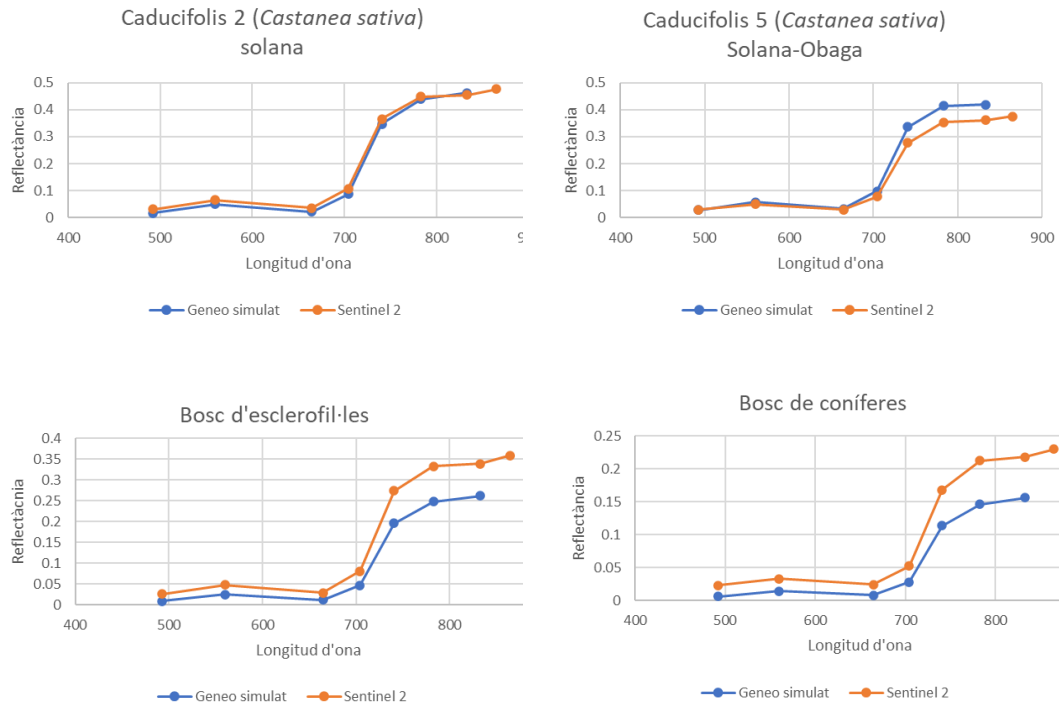


Figura 7-3: Perfils espectrals per a les diferents cobertes arbòries

També s'han portat a terme dos índexs espectrals diferents per analitzar-ne la seva signatura i comparar-la, entre Sentinel-2 i la futura missió GENE0, que han estat el **Ratio Vegetation Index** i el **Normalized Difference Vegetation Index**:

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \quad NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Els resultats comparats des dos índexs es troben en la Figura 7-4.

GENEO simulat				Sentinel 2		
Bandes	RVI	NDVI	Bandes	RVI	NDVI	
NIR2 /RED	7,3	16.50	0.89	8,4	7.81	0.77
NIR3 /RED				8a-4		0.78
NIR1 /RE1	6,4	5.16	0.68	7, 5	3.73	0.58
RE2/ RE1	5,4	3.99	0.60	6,5	3.03	0.50

Figura 7-4: Valors dels índexs de vegetació d'una parcel·la de coníferes per a les dades simulades GENEEO i Sentinel-2

A mode de resum es poden treure les valoracions següents d'aquesta comparativa sobre mostres arbòries, sempre atenent al fet que es tracta d'imatges simulades GENEEO i que caldrà veure el comportament geomètric i radiomètric real del sistema de plataforma i sensors (GENEO/SIMERA):

- Diferències relatives més grans a GENEEO, en les zones de l'infraroig
- Possible efecte topogràfic (orientació, altura, il·luminació...)
- S'observa un rang dinàmic millor en la imatge de GENEEO simulada

8 REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES



Rodal 19 Sureda Nord: Estassada realitzada a l'hivern i extracció de suro realitzat el següent mes de juny, abans de tractament fitosanitari. (tècnica mixta, acrílic, fotografia i creta)

- Baiges, T., & Palero, N. (2021). Posada a punt de l'Índex de Biodiversitat Potencial (IBP): un termòmetre per a mesurar la capacitat d'allotjar biodiversitat dels boscos (gestionats) de Catalunya. *Silvicultura*, 80.
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A. R. (1995). A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, 13(1–2), 95–120. <https://doi.org/10.1080/02757259509532298>
- Barriocanal, C. (2003). *Anàlisi i comparació de l'ornitofauna dels boscos i bosquines esclerofil·les de les muntanyes de la Costa Brava*.
- Baulies, X. (1994, October). La campanya CASI'91 a Catalunya. *Revista Catalana de Geografia*.
- Baulies, X., Joaniquet, M., Pineda, L., & Tardà, A. (1991). *El Proyecto CORINE-LAND COVER en el sector Oriental Peninsular y las Islas Baleares*.
- Boada, M. (2003). *Boscos de Catalunya : història i actualitat del món forestal*. Brau.
- Bolòs i Capdevila, O. de., & Vigo i Bonada, Josep. (1984). *Flora dels Països Catalans*. Barcino.
- Campbell, J. B. (1987). *Introduction to Remote Sensing* .
- Centre de la Propietat Forestal. (2011). Orientacions de gestió forestal sostenible de Catalunya (ORGEST). Tipologies forestals arbrades. In 2011. <http://cpf.gencat.cat/ca/detalls/Article/0012-ORGEST-Tipologies-forestals-arbrades>
- Centre Propietat Forestal. (2004). *Manual de redacció de plans tècnics de gestió i millora forestal (PTGMF) i plans simples de gestió forestal (PSGF). Instruccions de redacció i l'inventari forestal*. Generalitat de Catalunya.
- Cobertera, E. (1993). *Edafologia aplicada*. Editorial Càtedra.
- Copernicus Open Access Hub. (n.d.). Retrieved November 13, 2021, from <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

- CopTRAIN | COPERNICUS FOR LANDSCAPE MONITORING*. (n.d.). Retrieved November 19, 2021, from <https://coptrain.ihcantabria.com/>
- EarthExplorer*. (n.d.). Retrieved November 13, 2021, from <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Eco, U. (1982). *Como se hace una tesis, técnicas y procedimientos de investigación, estudio y escritura*. Ed. Gesida.
- Eklundh, L., & Jönsson, P. (2017). *TIMESAT 3.3 with seasonal trend decomposition and parallel processing Software Manual*. <http://www.nateko.lu.se/TIMESAT/>
- EuroPhen - European Phenology Camera Network*. (n.d.). Retrieved December 20, 2021, from <http://european-webcam-network.net/map.php>
- Filippini, F. (2018). *BAIS2: Burned Area Index for Sentinel-2*. 5177. <https://doi.org/10.3390/ECRS-2-05177>
- Forest Type 2018 — Copernicus Land Monitoring Service*. (2020). <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests/forest-type-1/status-maps/forest-type-2018>
- Garrity, S. R., Allen, C. D., Brumby, S. P., Gangodagamage, C., McDowell, N. G., & Cai, D. M. (2013). Quantifying tree mortality in a mixed species woodland using multitemporal high spatial resolution satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 129, 54–65. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2012.10.029>
- Hoshino, B., Sasamura, T., & Sugimoto, A. (2018). Studies on the forest dieback phenomenon in a semi-arid region using remotely sensed. *IGARSS*.
- IGN. (2018). *Atlas Nacional de España*.
- Jackson, R. D., & Huete, A. R. (1991). Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine*, 11(3–4), 185–200. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(05\)80004-2](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(05)80004-2)
- Kuenzer, C., Dech, S., & Wagner, W. (n.d.). *Remote Sensing and Digital Image Processing Remote Sensing Time Series*. <http://www.springer.com/series/6477>

- Li, S., Ganguly, S., Dungan, J. L., Wang, W., & Nemani, R. R. (2017). Sentinel-2 MSI Radiometric Characterization and Cross-Calibration with Landsat-8 OLI. *Advances in Remote Sensing*, 06(02), 147–159. <https://doi.org/10.4236/ars.2017.62011>
- Llobet, S. (1947). *El medi i la vida al Montseny. Estudi geogràfic* (1a ed.). Consejo Superior de investigaciones científicas.
- Marfà, O., Reguant, F., Serrano, L., & Tardà, A. (1990). *El sector maduixaire a l'Alt Maresme* (1er Premi Firesme d'Investigació Agrícola, Ed.).
- Martín, A., & Cervera, T. (2017). *Foment a la gestió dels boscos de titularitat privada a Catalunya. Subvencions a la gestió forestal sostenible 1994-2013*. Centre de la Preopietat Privada.
- Modica, G., Pollino, M., & Solano, F. (2018). Sentinel-2 Imagery for Mapping Cork Oak (*Quercus suber* L.) Distribution in Calabria (Italy): Capabilities and Quantitative Estimation. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 100, 60–67. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92099-3_8
- Modica, G., Solano, F., Merlino, A., di Fazio, S., Barreca, F., Laudari, L., & Fichera, C. R. (2016). Using landsat 8 imagery in detecting cork oak (*Quercus suber* L.) Woodlands: A case study in Calabria (Italy). *Journal of Agricultural Engineering*, 47(4), 205–215. <https://doi.org/10.4081/JAE.2016.571>
- MODIS Web. (n.d.). Retrieved January 3, 2022, from <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>
- Mundet, R.; B. T.; B. M.; T. A. (2018). *Guía de recomendaciones y medidas de adaptación al cambio climático en la gestión de Quercus suber*.
- Muñoz, P., & Tardà, A. (1995). *Pla Tècnic de Gestió i Millora Forestal per a les finques de Can Prat i Can Amat, número 133*.
- Muñoz, P., & Tardà, A. (2002). *Pla Tècnic de Gestió i Millora Forestal per a les finques de Can Breta i Can Nadeu, número 1685*.

- Navarro, A., Catalao, J., & Calvao, J. (2019). Assessing the Use of Sentinel-2 Time Series Data for Monitoring Cork Oak Decline in Portugal. *Remote Sensing* 2019, Vol. 11, Page 2515, 11(21), 2515. <https://doi.org/10.3390/RS11212515>
- Noticia - Ruralcat.* (n.d.). Retrieved December 31, 2021, from https://ruralcat.gencat.cat/noticia/-/journal_content/2002/20181/9175381/el-govern-aprova-l-estrategia-de-la-bioeconomia-de-catalunya-2030
- Panareda, J. M. (1986). Les castanyedes al Montseny. *AUSA*, XII/116.
- Panareda, J. M. (1991). *El Montseny: Visió geogràfica*. Eumo Editorial.
- Perez, F., Tardà, A., Alamús, R., Moré, G., Cea, C., Palà, V., Corbera, J., & Pons, X. (2013). *Intercalibración de sensores AISA y CASI*.
- Pipia, L., Pérez, F., Tardà, A., Martínez, L., Pala, V., & Arbiol, R. (2010). Thermal Airborne Spectrographic Imager for Temperature and Emissivity Retrieval. *RAQRS*.
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (1994). *Edafología*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Potapov, P., Li, X., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Hansen, M. C., Kommareddy, A., Pickens, A., Turubanova, S., Tang, H., Silva, C. E., Armston, J., Dubayah, R., Blair, J. B., & Hofton, M. (2021). Mapping global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 253, 112165. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2020.112165>
- PRISMA: small Innovative Earth Observation mission.* (n.d.). Retrieved November 20, 2021, from <http://www.prisma-i.it/index.php/en/>
- Products - GEDI.* (n.d.). Retrieved November 20, 2021, from <https://gedi.umd.edu/data/products/>
- Rodríguez, C. I. (2009). *Fenología de Quercus ilex L. y Quercus suber L. en una dehesa del centro peninsular*.

- Salvador, E., & Girant, J. (2014). *Cent anys de protecció del massís del Montseny: els antecedents històrics de la creació del Parc Natural i Reserva de la Biosfera del Montseny*. Diputació de Barcelona.
- Sanitjas, A., Tardà, A., & Muñoz, P. (2007). *2on Pla Tècnic de Gestió i Millora Forestal per a les finques de Can Prat i Can Amat, número 133*.
- Sèries climàtiques històriques*. (2021). Servei Meteorològic de Catalunya. <https://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/serveis-i-dades-climatiques/series-climatiques-historiques/>
- Servei Meteorològic de Catalunya. (2021). *Butlletí anual d'indicadors climàtics*.
- Soudani, K., Delpierre, N., Berveiller, D., Hmimina, G., Vincent, G., Morfin, A., & Dufrêne, É. (2021). Potential of C-band Synthetic Aperture Radar Sentinel-1 time-series for the monitoring of phenological cycles in a deciduous forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 104, 102505. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2021.102505>
- Stenberg, P., Mottus, M., & Rautiainen, M. (2008). Modeling the Spectral Signature of Forests: Application of Remote Sensing Models to Coniferous Canopies. In L. Shunlin (Ed.), *Advances in Land Remote Sensing. System, Modeling, Inversion and Application* (pp. 147–172).
- Strobl, P. (2019). *What is Landcover? Thoughts about the abstraction of landscape in Digital Earth*. International Workshop on Large-Scale Land-Cover Mapping from Remote Sensing - Sciencesconf.Org. <https://lslc.sciencesconf.org/300622>
- Tardà, A. (1989). Els boscos de sureda: un recurs forestal tradicional i actual. In Departament de Cultura de Catalunya (Ed.), *Jornades d'estiu sobre les zones de muntanya*.
- Tardà, A., Corbera, J., & Riera, A. (n.d.). *Estudi de l'àrea d'afectació de l'eruga peluda del suro al massís del Montnegre a partir d'imatges Sentinel-2 (2020)*.
- Tardà, A., & Riera, R. (n.d.). *Decaïment de la massa forestal dels boscos del Maresme / Portal de dades obertes de la Diputació de Barcelona*. Retrieved December 20,

2021, from <https://dadesobertes.diba.cat/datasets/decaiment-de-la-massa-forestal-dels-boscots-del-maresme>

Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3). (n.d.). Retrieved December 20, 2021, from <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ifn3.aspx>

The PhenoCam Network. (n.d.). Retrieved December 20, 2021, from <https://phenocam.sr.unh.edu/webcam/>

USDA-SCS. (1971). *Handbook of soil survey investigations field procedures*.

USGS. (n.d.). *Landsat Collection 2 Surface Reflectance | U.S. Geological Survey*. Retrieved December 21, 2021, from <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-surface-reflectance>

Vaiman, N., Brizuela, A., & Aguirre, C. A. (2013). *Comparison of spectral signatures and determination of pseudo-invariant features in radiometrically corrected images*. <https://www.researchgate.net/publication/262687183>

Vericat, P., & Piqué, M. (2008). La ordenación por rodales en Cataluña: Algunas experiencias y valoraciones. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 29–34.

Vieira-Natividade, J. (1991). *Subericultura* (P. Campos, Ed.).

Vigué, J. (2015). *2on Pla Tècnic de Gestió i Millora Forestal per a les finques de Can Breta i Can Nadeu, número 1685*.

Vogelmann, J. E. (2007). Comparison between two vegetation indices for measuring different types of forest damage in the north-eastern United States. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/01431169008955175*, 11(12), 2281–2297. <https://doi.org/10.1080/01431169008955175>

WMS Sòls. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (n.d.). Retrieved November 21, 2021, from <https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Servicios/Servicios-en-linea-Geoservicios/WMS-Geoindex/WMS-Sols>

Xie, Q., Dash, J., Huang, W., Peng, D., Qin, Q., Mortimer, H., Casa, R., Pignatti, S., Laneve, G., Pascucci, S., Dong, Y., & Ye, H. (2018). Vegetation Indices Combining the Red and Red-Edge Spectral Information for Leaf Area Index Retrieval. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *11*(5), 1482–1492.
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2018.2813281>



ANNEXOS


Annex 1: Fitxes descriptives 1: Els rodals principals i secundaris

Rodals principals

		Rodal 1			Punt central inventari		
Dades de control							
RODAL 1	Principal						
Nom	Alzinar sud del Castellar						
Superfície rodal	6.47	ha					
Municipi	Riells i Viabrea						
Cordenades	X (m)	Y (m)					
Punt central	459018.5	4626213.2					
Punt inventari							
Radi inventari	10 m						
Data inventari	19/09/2021						
Altitud	548.5 m	MET	555.8 m				
Pendent	22°	Orientació	S 160°				
Tipus de roca	Granit	Rocositat	10%				
Punt central	459039,15	4626133,86					
Característiques particulars							
<i>Item</i>	<i>Si/NO</i>	<i>Observacions</i>					
Tasques silvícoles	NO	Tasques realitzades:					
Regeneració de la massa	NO	sotabosc ofegat					
Danys massa arboria	NO						
Inventaris forestals	SI	3					
Erosió	SI	Molt baixa, pedres soltes					
Observacions							
Dades d'inventari							
<i>PTGMF-Treball de camp-any</i>	<i>UA/rodal</i>	<i>Espècie principal</i>	<i>Formació forestal</i>	<i>Codi</i>	<i>Sup</i>	<i>Tipus inventari</i>	
PTGMF-1- 2001	1.2	Quercus ilex ilex	Alzinar muntanyenc	Qii	4.46	Dendomètric	
PTGMF-2- 2014	1b	Quercus ilex ilex	Alzinar muntanyenc	Qii	6.69	Pericial	
TC-3- 2021	1	Quercus ilex ilex	Alzinar muntanyenc	Qii	6.47	Dendomètric	
Estructura Massa		2001	2014	2021			
Forma principal	Irregular	Semiregular	Semiregular				
Composició específica	Heterogenia a c	Heterogenia a	Heterogenia a claps				
Distribució espacial	Uniforme	Uniforme	Uniforme				
Formació arbòria principal							
Especies forestals	Densitat (p/ha)	Fcc %	Dm (cm)	H(m)	Edat	AB(m2/ha)	Any
Qii-Quercus ilex ilex	832	65	14	15		18.18	2001
Qii-Quercus ilex ilex	955	55	13	7		15	2014
Qii-Quercus ilex ilex	1691	50	10	12		34.72	2021



		Rodal 2		Punt central inventari							
Dades de control											
RODAL 2	Secundari										
Nom	Baga de Can Torrent										
Superfície rodal	8.69	ha									
Municipi	Riells i Viabrea										
Cordenades	X (m)	Y (m)									
Punt central	458701.7	4626781.4									
Punt inventari											
Radi inventari	10 m										
Data inventari	12/09/2021										
Altitud	653.7 m	MET	663.7 m								
Pendent	15°	Orientació	N 345°								
Tipus de roca	Granit	Rocositat	10%								
Punt central	458915,06	4626815,75									
Característiques particulars											
Item	SI/NO	Observacions									
Tasques silvícoles	desconegut		Tasques realitzades:								
Regeneració de la massa	SI	cirerer, alzina i boix grevol									
Danys massa arboria	SI	Molt afectada. Xancre i altres									
Inventaris forestals	SI	1									
Erosió	NO										
Observacions	TC 2021 sense informació històrica										
Dades d'inventari											
PTGMF-Treball de camp-any	UA/rodal	Espècie principal	Formació forestal	Codi	Sup	Tipus inventari					
TC-3- 2021	2	Castanea Sativa	Castanyedes (Cs)	Cs	8.69	Dendomètric					
Estructura Massa		2021									
Forma principal	Coetània										
Composició específica	Homogènia										
Distribució espacial	Uniforme										
Formació arbòria principal											
Espècies forestals	Densitat (p/ha)	Fcc %	Dm (cm)	H(m)	Edat	AB(m2/ha)	Any				
Cs-Castanea Sativa	2976	85	15	20	?	48.99	2021				


		Rodal 3		Punt central inventari			
Dades de control							
RODAL 3	Principal						
Nom	Sureda Sud						
Superfície rodal	7.88	ha					
Municipi	Riells i Viabrea						
Cordenades	X (m)	Y (m)					
Punt central	459802,62	4625528,42					
Punt inventari							
Radi inventari	10 m						
Data inventari	19/09/2021						
Altitud	529.0 m	MET	513.4 m				
Pendent	18°	Orientació	SW 209°				
Tipus de roca	Granit	Rocositat	5%				
Punt central	459683,78	4625585,98					
Característiques particulars							
<i>Item</i>	<i>SI/NO</i>	<i>Observacions</i>					
Tasques silvícoles	SI	Tasques realitzades:		2000	Estassada		
				2000	Extracció de suro		
Regeneració de la massa	SI	Qi poc Qs		2000	Tractament fitosanitari		
Danys massa arboria	SI	Xancres i altres		2013	Estassada i regeneració suros		
Inventaris forestals	SI	3		2013	Extracció de suro		
Erosió	NO	alguna pedra solta		2013	Tractament fitosanitari		
Observacions	2000 Tasques forestals incorrectes			2022	Previsió estssada		
Dades d'inventari							
<i>PTGMF-Treball de camp-any</i>	<i>UA/rodal</i>	<i>Espècie principal</i>	<i>Formació forestal</i>	<i>Codi</i>	<i>Sup</i>	<i>Tipus inventari</i>	
<i>PTGMF-1- 2001</i>	7.2	<i>Quercus suber</i>	<i>Suredes</i>	Qs	7.79	Dendomètric	
<i>PTGMF-2- 2014</i>	7b	<i>Quercus suber</i>	<i>Suredes</i>	Qs	8.31	Pericial	
<i>TC-3- 2021</i>	3	<i>Quercus suber</i>	<i>Suredes</i>	Qs	7.88	Dendomètric	
Estructura Massa		2001	2014	2021			
Forma principal	SemireRegular	SemireRegular	SemireRegular				
Composició específica	Homogènia	Homogènia	Homogènia				
Distribució espacial	Uniforme	Uniforme	Uniforme				
Formació arbòria principal							
Especies forestals	Densitat (p/ha)	Fcc %	Dm (cm)	H(m)	Edat	AB(m2/ha)	Any
Qs- Quercus suber	560	80	26	11.5		31.3	2001
Qs- Quercus suber	400	45	27	8		23	2014
Qs- Quercus suber	1019	15	40	12		51.29	2021

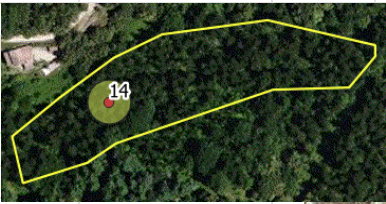

			Rodal 4	Punt central inventari			
Dades de control			 				
RODAL 4	Principal						
Nom	Alzinar de Can Romualdo						
Superfície rodal	4.35	ha					
Municipi	Riells i Viabrea						
Cordenades	X (m)	Y (m)					
Punt central	459012.5	4626645.9					
Punt inventari							
Radi inventari	10 m						
Data inventari	12/09/2021						
Altitud	616.0 m	MET	622.5 m				
Pendent	14°	Orientació	SE 2150°				
Tipus de roca	Granit	Rocositat	10%				
Punt central	459003,99	4626690,81					
Característiques particulars							
<i>Item</i>	<i>Si/NO</i>	<i>Observacions</i>					
Tasques silvícoles	NO	Tasques realitzades:					
Regeneració de la massa	No	Sotabosc afogat, arboços morts					
Danys massa arboria	NO						
Inventaris forestals	SI	3					
Erosió	SI	Abundancia superficial de pedres					
Observacions							
Dades d'inventari							
<i>PTGMF-Treball de camp-any</i>	<i>UA/rodal</i>	<i>Espècie principal</i>	<i>Formació forestal</i>	<i>Codi</i>	<i>Sup</i>	<i>Tipus inventari</i>	
PTGMF-1- 2001	1.1	Quercus ilex ilex	Alzinar muntanyenc	Qii	13.2	Dendromètric	
PTGMF-2- 2014	1.a	Quercus ilex ilex	Alzinar muntanyenc	Qii	14.3	Pericial	
TC-3- 2021	4	Quercus ilex ilex	Alzinar muntanyenc	Qii	4.35	Dendromètric	
Estructura Massa	2001	2014	2021				
Forma principal	Irregular	Semiregular	Semiregular				
Composició específica	Heterogenia ba	Heterogenia k	Heterogenia barrajada peu a peu				
Distribució espacial	Uniforme	Uniforme	Uniforme				
Formació arbòria principal							
Especies forestals	Densitat (p/ha)	Fcc %	Dm (cm)	H(m)	Edat	AB(m2/ha)	Any
Qii-Quercus ilex ilex	1624	70	14	10		30.17	2001
Qii-Quercus ilex ilex	1080	60	17	8		25	2014
Qii-Quercus ilex ilex	1280	75	10	10		37.09	2021



			Rodal 5	Punt central inventari			
Dades de control							
RODAL 5	Principal						
Nom	Sureda de la Pedrera						
Superfície rodal	2.07	ha					
Municipi	Gualba						
Cordenades	X (m)	Y (m)					
Punt central	458466.0	4622034.5					
Punt inventari							
Radi inventari	10 m						
Data inventari	13/09/2021						
Altitud	502.4 m	MET	503.8 m				
Pendent	22°	Orientació	SE 155°				
Tipus de roca	Granit	Rocositat	20%				
Punt central	459580,74	4625804.09					
Característiques particulars							
<i>Item</i>	<i>Si/NO</i>	<i>Observacions</i>					
Tasques silvícoles	SI	Tasques realitzades:	1998	Estassada			
			1999	Extracció de suro			
Regeneració de la massa	SI	molt alta Qs	1999	Tractament fitosanitari			
Danys massa arboria	SI	Incendi 94 i sequeres	2013	Estassada i regeneració suro			
Inventaris forestals	SI	3	2013	Extracció de suros			
Erosió	NO	Pedres soltes- Pedrera al costat	2013	Tractament fitosanitari			
Observacions							
Dades d'inventari							
<i>PTGMF-Treball de camp-any</i>	<i>UA/rodal</i>	<i>Espècie principal</i>	<i>Formació forestal</i>	<i>Codi</i>	<i>Sup</i>	<i>Tipus inventari</i>	
PTGMF-3- 1994	1	Quercus suber	Sureda	Qs	8	Dendomètric	
PTGMF-4- 2005	1	Quercus suber	Sureda	Qs	8.85	Dendomètric	
TC-3- 2021	5	Quercus suber	Sureda	Qs	2.07	Dendomètric	
Estructura Massa	1994	2005	2021				
Forma principal	SemiRegular	SemiRegular	SemiRegular				
Composició específica	Homogènia	Homogènia	Homogènia				
Distribució espacial	Uniforme	Uniforme	Uniforme				
Formació arbòria principal							
Especies forestals	Densitat (p/ha)	Fcc %	Dm (cm)	H(m)	Edat	AB(m2/ha)	Any
Qs- Quercus suber	775	90	20	11		31.9	1994
Qs- Quercus suber	382	35	24	10		33.7	2005
Qs- Quercus suber	1530	50	15	10		35.21	2021


			Rodal 6	Punt central inventari			
Dades de control							
RODAL 6	Principal						
Nom	Baga de Corbera						
Superfície rodal	7.25	ha					
Municipi	Gualba						
Cordenades	X (m)	Y (m)					
Punt central	456343.5	4623214.9					
Punt inventari							
Radi inventari	10 m						
Data inventari	05/09/2021						
Altitud	557.8 m	MET	868.9 m				
Pendent	25°	Orientació	SE 118°				
Tipus de roca	Granit	Rocositat	10%				
Punt central	456325,82	4623196,87					
Característiques particulars							
<i>Item</i>	<i>SI/NO</i>	<i>Observacions</i>					
Tasques silvícoles	SI	Tasques realitzades:		1983	Tallada arreu		
				2008	Tractament xancre		
Regeneració de la massa	SI	Algun roure					
Danys massa arboria	SI	Tractament xancre					
Inventaris forestals	SI	3					
Erosió	NO						
Observacions							
Dades d'inventari							
<i>PTGMF-Treball de camp-any</i>	<i>UA/rodal</i>	<i>Espècie principal</i>	<i>Formació forestal</i>	<i>Codi</i>	<i>Sup</i>	<i>Tipus inventari</i>	
PTGMF-3- 1994	11	Castanea Sativa	Castanyedes	Cs	16	Dendomètric	
PTGMF-4- 2005	11	Castanea Sativa	Castanyedes	Cs	12.7	Pericial	
TC-3- 2021	6	Castanea Sativa	Castanyedes	Cs	7.25	Dendomètric	
Estructura Massa			1994	2005	2021		
Forma principal	Regular	Regular	Regular				
Composició específica	Homogènia	Homogènia	Homogènia				
Distribució espacial	Uniforme	Uniforme	Uniforme				
Formació arbòria principal							
Especies forestals	Densitat (p/ha)	Fcc %	Dm (cm)	H(m)	Edat	AB(m2/ha)	Any
Cs-Castanea Sativa	1488	90	peus menors	7	11		1994
Cs-Castanea Sativa	2547	80	10	18	22	41.15	2005
Cs-Castanea Sativa	3072	90	15	22	38	74.77	2021

FITXA DESCRIPTIVA		(1/2)		Rodal 7		Punt central inventari		
Dades de control								
RODAL 7	Principal							
Nom	Pineda del Castellar							
Superfície rodal	2.82	ha						
Municipi	Riells i Viabrea							
Cordenades	X (m)	Y (m)						
Punt central	459087.5	4626438.3						
Punt inventari								
Radi inventari	15 m							
Data inventari	05/09/2021							
Altitud	613 m	MET	614 m					
Pendent	20°	Orientació	NE 27°					
Tipus de roca	Granit	Rocositat	10%					
Punt central								
Característiques particulars								
Item	SI/NO	Observacions						
Tasques silvícoles	NO	Tasques realitzades:						
Regeneració de la massa	SI	castanyer de rebrot i alzina en el sotabosc						
Danys massa arboria	SI	castanyer de mata						
Inventaris forestals	SI	3						
Erosió	NO							
Observacions								
Dades d'inventari								
PTGMF-Treball de camp-any	UA/rodal	Espècie principal	Formació forestal	Codi	Sup	Tipus inventari		
PTGMF-1- 2001	2.3	Pinus radiata	Plantacions de pi insigne	Pr	3.68	Dendomètric		
PTGMF-2- 2014	2.a	Pinus radiata	Plantacions de pi insigne	Pr	3.69	Pericial		
TC-3- 2021	7	Pinus radiata	Plantacions de pi insigne	Pr	2.82	Dendomètric		
Estructura Massa		2001	2014	2021				
Forma principal	Coetània	Coetània	Coetània					
Composició específica	Homogènia	Homogènia	Homogènia					
Distribució espacial	Uniforme	Uniforme	Uniforme					
Formació arbòria principal								
Especies forestals	Densitat (p/ha)	Fcc %	Dm (cm)	H(m)	Edat	AB(m2/ha)	Any	
Pr-Pinus radiata	686	70	24	16	14	32.8	2001	
Pr-Pinus radiata	465	40	34	22	27	42	2014	
Pr-Pinus radiata	518	50	40	20	34	61.66	2021	

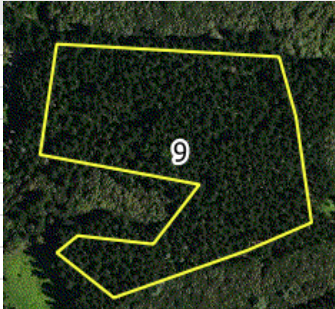


		Rodal 8		Punt central inventari							
Dades de control											
RODAL 8	Principal										
Nom	Pineda de Breta										
Superfície rodal	0.78	ha									
Municipi	Riells i Viabrea										
Cordenades	X (m)	Y (m)									
Punt central	459582.0	4625800.4									
Punt inventari											
Radi inventari	15 m										
Data inventari	05/09/2021										
Altitud	557.8 m	MET	483.2 m								
Pendent	15°	Orientació	SW 209°								
Tipus de roca	Granit	Rocositat	5%								
Punt central	459580,74	4625804.09									
Característiques particulars											
<i>Item</i>	<i>Si/NO</i>	<i>Observacions</i>									
Tasques silvícoles	NO	Tasques realitzades:									
Regeneració de la massa	SI	freixes i alzina en el sotabosc									
Danys massa arboria	NO										
Inventaris forestals	SI	3									
Erosió	NO										
Observacions											
Dades d'inventari											
<i>PTGMF-Treball de camp-any</i>	<i>UA/rodal</i>	<i>Espècie principal</i>	<i>Formació forestal</i>	<i>Codi</i>	<i>Sup</i>	<i>Tipus inventari</i>					
PTGMF-1- 2001	2.2	Pinus radiata	Plantacions de pi insigne	Pr	0.7	Dendomètric					
PTGMF-2- 2014	2c	Pinus radiata	Plantacions de pi insigne	Pr	2.7	Pericial					
TC-3- 2021	8	Pinus radiata	Plantacions de pi insigne	Pr	0.78	Dendomètric					
Estructura Massa	2001	2014	2021								
Forma principal	Coetània	Coetània	Coetània								
Composició específica	Homogènia	Homogènia	Homogènia								
Distribució espacial	Uniforme	Uniforme	Uniforme								
Formació arbòria principal											
Especies forestals	Densitat (p/ha)	Fcc %	Dm (cm)	H(m)	Edat	AB(m2/ha)	Any				
Pr-Pinus radiata	672	90	24	17	13	31.43	2001				
Pr-Pinus radiata	400	25	35	22	26	29	2014				
Pr-Pinus radiata	448	50	40	25	33	57.04	2021				




		Rodal 14		Punt central inventari			
Dades de control							
RODAL 14	Principal						
Nom	Pineda Can Amat						
Superfície rodal	1.19	ha					
Municipi	Riells i Viabrea						
Cordenades	X (m)	Y (m)					
Punt central	458871.6	4623984.8					
Punt inventari							
Radi inventari	15 m						
Data inventari	04/09/2021						
Altitud	538,6 m	MET	532,3 m				
Pendent	16°	Orientació	S 170°				
Tipus de roca	Granit	Rocositat	5%				
Punt central	458821,44	4623974,74					
Característiques particulars							
<i>Item</i>	<i>SI/NO</i>	<i>Observacions</i>					
Tasques silvícoles	SI	Tasques realitzades:		1995	1ra repoblació fallida Pr		
				1996	2na repoblació Pr		
Regeneració de la massa	SI	Cs, Qi, Qpr		2004	Aclarida peus i poda		
Danys massa arboria	NO			2004	Estassada		
Inventaris forestals	SI	3					
Erosió	NO						
Observacions							
Dades d'inventari							
<i>PTGMF-Treball de camp-any</i>	<i>UA/rodal</i>	<i>Espècie principal</i>	<i>Formació forestal</i>	<i>Codi</i>	<i>Sup</i>	<i>Tipus inventari</i>	
PTGMF-3- 1994	16	<i>Pinus radiata</i>	<i>Plantacions de pi insigne</i>	Pr	2.19	Dendomètric	
PTGMF-4- 2005	14	<i>Pinus radiata</i>	<i>Plantacions de pi insigne</i>	Pr	1.3	Pericial	
TC-3- 2021	14	<i>Pinus radiata</i>	<i>Plantacions de pi insigne</i>	Pr	1.19	Dendomètric	
Estructura Massa	1994		2005		2021		
Forma principal	Coetània	Coetània	Coetània				
Composició específica	Homogènia	Homogènia	Homogènia				
Distribució espacial	Uniforme	Uniforme	Uniforme				
Formació arbòria principal							
Especies forestals	Densitat (p/ha)	Fcc %	Dm (cm)	H(m)	Edat	AB(m2/ha)	Any
Incendi	Cremat						1994
Pr-Pinus radiata	1464	60	12	14	10	22.4	2005
Pr-Pinus radiata	322	50	35	25	26	37.87	2021

			Rodal 22	Punt central inventari			
Dades de control							
RODAL 22	Principal						
Nom	Alzinar del sot de Breta						
Superfície rodal	2.75	ha					
Municipi	Riells i Viabrea						
Cordenades	X (m)	Y (m)					
Punt central	459346.5	4626218.4					
Punt inventari							
Radi inventari	10 m						
Data inventari	19/09/2021						
Altitud	540 m	MET	550.9 m				
Pendent	17°	Orientació	E 80°				
Tipus de roca	Granit	Rocositat	5%				
Punt central	459580,74	4625804.09					
Característiques particulars							
<i>Item</i>	<i>SI/NO</i>	<i>Observacions</i>					
Tasques silvícoles	NO	Tasques realitzades:					
Regeneració de la massa	SI	Alguna alzina					
Danys massa arboria	NO						
Inventaris forestals	SI	3					
Erosió	SI	Molt poc. Algunes pedres soltes					
Observacions							
Dades d'inventari							
<i>PTGMF-Treball de camp-any</i>	<i>UA/rodal</i>	<i>Espècie principal</i>	<i>Formació forestal</i>	<i>Codi</i>	<i>Sup</i>	<i>Tipus inventari</i>	
PTGMF-1- 2001	2.2	<i>Pinus radiata</i>	Plantacions de pi insigne	Pr	0.7	Dendromètric	
PTGMF-2- 2014	2c	<i>Pinus radiata</i>	Plantacions de pi insigne	Pr	2.7	Pericial	
TC-3- 2021	8	<i>Pinus radiata</i>	Plantacions de pi insigne	Pr	0.78	Dendromètric	
Estructura Massa			2001	2014	2021		
Forma principal	SemiRegular	SemiRegular	SemiRegular				
Composició específica	Heterogoneia b	Heterogoneia	Heterogoneia barrejada	peu a peu			
Distribució espacial	Uniforme	Uniforme	Uniforme				
Formació arbòria principal							
Especies forestals	Densitat (p/ha)	Fcc %	Dm (cm)	H(m)	Edat	AB(m2/ha)	Any
Qii-Quercus ilex ilex	1624	70	14	10		30.17	2001
Qii-Quercus ilex ilex	1080	60	17	8		25	2014
Qii- Quercus ilex ilex	2036	45	15	10		46.34	2021

		Rodal 23		Punt central inventari			
Dades de control							
RODAL 23	Principal						
Nom	Bosc mixte de Castellar						
Superfície rodal	2.8	ha					
Municipi	Riells i Viabrea						
Cordenades	X (m)	Y (m)					
Punt central	459141.9	4626256.9					
Punt inventari							
Radi inventari	10 m						
Data inventari	18/09/2021						
Altitud	598.0 m	MET	483.2 m				
Pendent	10°	Orientació		SE 158°			
Tipus de roca	Granit	Rocositat		no			
Punt central	459143,78	4626279,52					
Característiques particulars							
<i>Item</i>	<i>SI/NO</i>	<i>Observacions</i>					
Tasques silvícoles	SI	Tasques realitzades:		2018	Estassada, aclarida peus Qi		
				2018	Extracció de suro		
Regeneració de la massa	SI	Qi i mywns Qs		2018	Tractament fitosanitari		
Danys massa arboria	NO						
Inventaris forestals	SI	3					
Erosió	NO						
Observacions							
Dades d'inventari							
<i>PTGMF-Treball de camp-any</i>	<i>UA/rodal</i>	<i>Espècie principal</i>	<i>Formació forestal</i>	<i>Codi</i>	<i>Sup</i>	<i>Tipus inventari</i>	
PTGMF-1- 2001	2.2	Quercus ilex ilex	Bosc mixtos de sureda i alzines	Qii	4.56	Dendomètric	
PTGMF-2- 2014	2c	Quercus ilex ilex	Bosc mixtos de sureda i alzines	Qii	3.87	Pericial	
TC-3- 2021	23	Quercus suber	Bosc mixtos de sureda i alzines	Qii	2.8	Dendomètric	
Estructura Massa		2001	2014	2021			
Forma principal	Coetània	Coetània	Coetània				
Composició específica	Homogènia	Homogènia	Homogènia				
Distribució espacial	Uniforme	Uniforme	Uniforme				
Formació arbòria principal							
Especies forestals	Densitat (p/ha)	Fcc %	Dm (cm)	H(m)	Edat	AB(m2/ha)	Any
Qii- Quercus ilex ilex	630	60	16	9		13.82	2001
Qii- Quercus ilex ilex	525	60	23	8		23	2014
Qs- Quercus suber	733	45	25	12		30.38	2021

Rodals secundaris

RODALS SECUNDARIS		Rodals	9, 10, 12			
Dades de control						
RODAL 9	Secundari					
Nom	Pineda Sant climent N					
Superfície rodal	2.43	ha				
Municipi	Arbúcies					
Cordenades	X (m)	Y (m)				
Punt central	459933.6	4626907.6				
Altitud (MET)	675 m					
Formació Forestal Arbrada estimada	Plantacions de Pi Insigne (Pr)					
Data:	2020					
Observacions						
Dades de control						
RODAL 10	Secundari					
Nom	Pineda Pla de Saba					
Superfície rodal	1.74	ha				
Municipi	Riells i Viabrea					
Cordenades	X (m)	Y (m)				
Punt central	458793.7	4624509.1				
Altitud (MET)	605 m					
Formació Forestal Arbrada estimada	Plantacions de Pi Insigne (Pr)					
Data:	2020					
Observacions						
Dades de control						
RODAL 12	Secundari		Orto 2017			
Nom	Pineda Can Rumia					
Superfície rodal	3.31	ha				
Municipi	Riells i Viabrea					
Cordenades	X (m)	Y (m)				
Punt central	459913.3	4624323.5				
Altitud (MET)	415 m					
Formació Forestal Arbrada estimada	Plantacions de Pi Insigne (Pr)					
Data:	2020					
Observacions	Tallada 2018			Orto 2018		

RODALS SECUNDARIS		Rodals	13, 15, 11
Dades de control			
RODAL 13	Secundari		
Nom	Pineda Can Fassada		
Superfície rodal	0.96	ha	
Municipi	Riells i Viabrea		
Cordenades	X (m)	Y (m)	
Punt central	459136.0	4624065.4	
Altitud (MET)	545 m		
Formació Forestal Arbrada	estimada	Plantacions de Pi Insigne (Pr)	
Data:	2020		
Observacions			
			
Dades de control			
RODAL 15	Secundari		
Nom	Pineda Sant Climent Sud		
Superfície rodal	3.05	ha	
Municipi	Arbúcies		
Cordenades	X (m)	Y (m)	
Punt central	459933.3	4626706.2	
Altitud (MET)	675 m		
Formació Forestal Arbrada	estimada	Plantacions de Pi Insigne (Pr)	
Data:	2020		
Observacions			
			
Dades de control			
RODAL 11	Secundari		
Nom	Sureda de Can Joia 2		
Superfície rodal	8.34	ha	
Municipi	Riells i Viabrea		
Cordenades	X (m)	Y (m)	
Punt central	458793.7	4624509.1	
Altitud (MET)	504 m		
Formació Forestal Arbrada	estimada	Suredes (Qs)	
Data:	2020		
Observacions	Tasques forestals realitzades		
			

RODALS SECUNDARIS		Rodals	24, 25				
Dades de control							
RODAL 24	Secundari						
Nom	Sureda de la Mel						
Superfície rodal	6.7	ha					
Municipi	Gualba						
Cordenades	X (m)	Y (m)					
Punt central	459141.9	4626256.9					
Altitud (MET)	596 m						
Formació Forestal Arbrada estimada	Suredes (Qs)						
Data:	2020						
Observacions	Incendi 1994						
Dades de control							
RODAL 25	Secundari						
Nom	Sureda de l'Arboç						
Superfície rodal	7.79	ha					
Municipi	Gualba						
Cordenades	X (m)	Y (m)					
Punt central	457835.0	4622223.7					
Altitud (MET)	504 m						
Formació Forestal Arbrada estimada	Suredes (Qs)						
Data:	2020						
Observacions	Incendi 1994						



Annex 2: Exemple de Fitxa de Camp

Fitxa de camp del rodal 22 realitzada el 19 de setembre del 2021

Pnel
Anna

FITXA PER A TREBALL DE CAMP

Dades de Control: Rodal: Rodal 22 Algivar Nord Est
E Castellar.

Horari

Inici:	17.15
Acabament:	18.30

Temps de desplaçament

Data

19/09/2021

Observacions i itinerari d'accés a la zona

Descripció de l'accés Camí cap el Castellar.

Croquis i localització:

Identificació

Dades de control de l'estació de mostreig Rodal 22 Algivar N-E
E Castellar

Comarca:

Coordenades: x: y: 3 fotos +
fotos comuna

Classificació de la zona:

Area protegida: SI Altitud mitjana: 540m Pendent mitja: 17-18° Orientació: 80° E

Tipus de Roca: Calcàrea O Granit Pissarres i esquistos O Conglomerat O

Marga O Altres _____

Rocositat: No O SI poc % alguna roca solta.

Erosió:

Sense manifestacions erosives

- 1- Coll de les arrels al descobert amb una acumulació de material aigües amunt dels troncs i abundància superficial de pedres
- 2- Presència de xaragalls paral·lels d'un pam de fondària (20 cm com a màxim)
- 3- Rases i barrancs en forma de V
- 4- Rases i barrancs en forma de U
- 5- Desprendiment del terreny

Vegetació - Fracció de cabuda coberta 80 % (projecció de les capçades arbustives i dels arbres)

Espècies herbàcies: sotabosc:

Esp	h. mitja	dens.
patenera		abundant ↑
heura ↑		
patena negra ↑		
Heura eugumosa		

Arbustiu - Fracció de cabuda coberta 10-20 %
 Arbustiu - Alçada mitjana 3 a 4 m

Espècies arbustives: Matollar i arbusts sotabosc:

Esp	h. mitja	dens.
AR	3-4m	abundant. Esclaritzat en fullatse. Algunes 8-9m
alguna alzina		esperiòica de regeneració
Algun Bruc (Erica arborea)		

Arbori - Fracció de cabuda coberta 80-90 %

Composició específica:

- 1- massa homogènia o pura
- ② massa heterogènia barrejada peu a peu
- ③ massa heterogènia amb vol i subvol
- 4- massa heterogènia barrejada a clapes

Distribució espacial:

- 1- massa uniforme
- 2- disseminada en clapes aïllades
- ③ disseminada en individus aïllats

Alçada alzines 10-12 m

Nombre de soques:

Observacions

Peus menors: A full de peus majors

Esp	Num.	H mitja	regen
Sot AR - masts ↑			
Sot AR - vus ↑			

Poca regeneració alzina.

Notes: regeneració d'algunes petites abundants
 Arhocs morts Soxo pous drets
 Alguns tronc mort esporàdic
 ↓ Poc restes llengua al terra

Dendrometria (1/2) Radi mitjà d'1,0 per diàmetre inferior a 55 cm
 Radi mitjà de 0,5 per diàmetres superiors o iguals a 55 cm
 Vigor: 1 - Dominant 2 - Col·locat 3 - Intermedi 4 - Constat 5 - Mort 6 - Incert o de fora

10 Equant

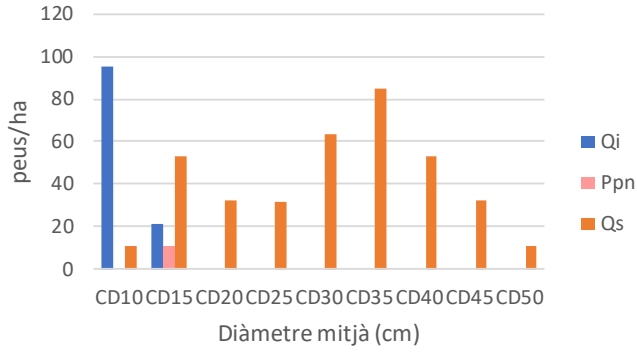
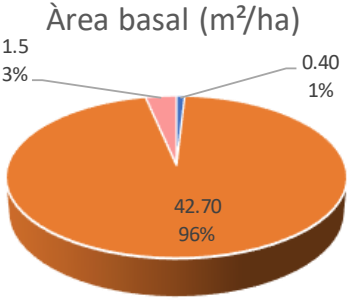
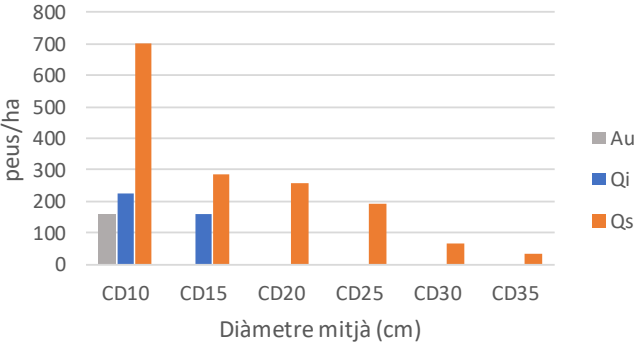
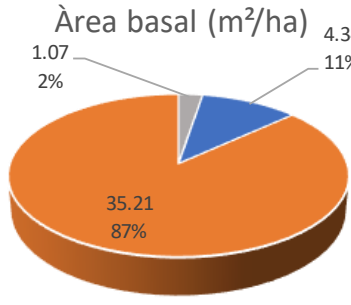
Ano nº	Peim	Espec	Peu	tany			Ano nº	Peim	Espec	Peu	tany			Ano nº	Peim	Espec	Peu	Alçada	Vigor	Estat
				1	2	3					1	2	3							
101	PH	AR	3				1031	48	AR	2	3		561	51	GI					
102	PH	AR	2	4			1032	50	GI				562	52	GI					
103	61	GI					1033	55	AR				563	53	GI					
104	26	AR					1034	36	AR				564	25	GI					
105	50	AR					1035	67	AR				565	54	AR	2				
106	36	AR					1036	54	GI				566	34						
107	28	AR					1037	25	AR				1067	34	GI					
108	PN	GI					1038	27	AR				1068	30	GI	1	6			
109	13	GI					1039	46	AR				1069	55						
110	36	AR	1	3			1040	79	GI				1070	41	AR	1	5			
111	74	AR					1041	46	AR	2			1071	32						
112	35	AR					1042	45					1072	43						
113	40		4				1043	57	GI				1073	22						
114	36						544	26	AR	2			1074	10	GI	7				
1015	22	GI					545	28	GI				1075	30	AR					
1016	29	GI					546	34	AR				1076	35	AR	1	8			
1017	27	AR					547	64	GI				1077	25						
1018	22	AR					548	26	AR				1078	23						
1019	38	GI					1049	54	GI				79							
1020	29	AR					1050	26	AR	3			80							
1021	26	GI					1051	26	AR				81							
1022	58	GI					1052	50	AR	7			82							
1023	21	GI	1	3			1053	30					83							
1024	51	AR	2	3	MORT		1054	42	GI				84							
1025	2	GI					1055	33	AR	2			85							
1026	24	AR	1				1056	23					86							
1027	29	GI					1057	32	AR	3			87							
1028	21	GI	2				1058	33	AR	2			88							
1029	52	GI					1059	35	AR				89							
1030	84	AR					560	PH	AR	2			90							

20 u
 pucheres

Annex 3: Fitxes Descriptives 2: Rodals principals amb inventaris forestals

FITXA DESCRIPTIVA	(2/2)	RODAL	1	Principal
		TFA	Alzinar muntanyec amb altres planifolis (QiMu_PI)	
Formació arbòria i arbustiva general				
PTGMF-1-2001				
Nombre de peus total	1160	FCC	95%	Àrea basal total 42.22 m ²
Altura arbre dominant	16m			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Classificació diametral</p> <p style="text-align: center;">peus/ha</p> <p style="text-align: center;">Diàmetre mitjà (cm)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Àrea basal (m²/ha)</p> <p style="text-align: center;">10% 0.10 0% 19.73 47% 18.18 43% 4.00 10%</p> </div> </div>				
Sotabosc	Estepes, arboç i bruc			
Observacions	Massa forestal no intervinguda des dels anys 50-60			
PTGMF-2-2014				
Nombre de peus total	1,402	FCC	84%	Àrea basal total 30 m ²
Altura arbre dominant	7			
Sotabosc	Bruc i arboç	FCC	50%	H 2-3 m
Observacions	No hi han tasques forestals			
TC-3-2021				
Nombre de peus total	2456	FCC	90%	Àrea basal total 51.53 m ²
Altura arbre dominant	10-12 m			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Classificació diametral</p> <p style="text-align: center;">peus/ha</p> <p style="text-align: center;">Diàmetre mitjà (cm)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">Àrea basal (m²/ha)</p> <p style="text-align: center;">5.41 11% 11.40 23% 34.72 67%</p> </div> </div>				
Sotabosc arbustiu	Bruc i arboç	FCC	30%	H 2-3 m
Sotabosc herbaci	Heura, liana, aríftjol i rogeta			
Observacions	No hi ha regeneració. Capa arbòria molt densa. Falta de llum			
	No hi han tasques forestals			

FITXA DESCRIPTIVA	(2/2)	RODAL	3	Principal																																																
		TFA	Suredes (Qs)																																																	
Formació arbòria i arbustiva general																																																				
PTGMF-1-2001																																																				
Nombre de peus total	728	FCC	85%	Àrea basal total 33.7 m ²																																																
Altura arbre dominant	11.5 m																																																			
<p>Classificació diametral</p> <table border="1"> <caption>Data for PTGMF-1-2001 Diameter Classification</caption> <thead> <tr> <th>Diàmetre mitjà (cm)</th> <th>Qi</th> <th>Au</th> <th>Qs</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CD10</td><td>45</td><td>55</td><td>0</td></tr> <tr><td>CD15</td><td>25</td><td>15</td><td>35</td></tr> <tr><td>CD20</td><td>15</td><td>0</td><td>95</td></tr> <tr><td>CD25</td><td>0</td><td>0</td><td>225</td></tr> <tr><td>CD30</td><td>10</td><td>0</td><td>125</td></tr> <tr><td>CD35</td><td>0</td><td>0</td><td>55</td></tr> <tr><td>CD40</td><td>0</td><td>0</td><td>10</td></tr> <tr><td>CD45</td><td>0</td><td>0</td><td>10</td></tr> </tbody> </table>		Diàmetre mitjà (cm)	Qi	Au	Qs	CD10	45	55	0	CD15	25	15	35	CD20	15	0	95	CD25	0	0	225	CD30	10	0	125	CD35	0	0	55	CD40	0	0	10	CD45	0	0	10	<p>Àrea basal (m²/ha)</p> <table border="1"> <caption>Data for PTGMF-1-2001 Basal Area</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Value (m²/ha)</th> <th>Percentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Qi</td><td>1.80</td><td>5%</td></tr> <tr><td>Au</td><td>0.64</td><td>2%</td></tr> <tr><td>Qs</td><td>31.26</td><td>93%</td></tr> </tbody> </table>			Category	Value (m ² /ha)	Percentage	Qi	1.80	5%	Au	0.64	2%	Qs	31.26	93%
Diàmetre mitjà (cm)	Qi	Au	Qs																																																	
CD10	45	55	0																																																	
CD15	25	15	35																																																	
CD20	15	0	95																																																	
CD25	0	0	225																																																	
CD30	10	0	125																																																	
CD35	0	0	55																																																	
CD40	0	0	10																																																	
CD45	0	0	10																																																	
Category	Value (m ² /ha)	Percentage																																																		
Qi	1.80	5%																																																		
Au	0.64	2%																																																		
Qs	31.26	93%																																																		
Sotabosc	Brolla d'estepes, ginesta, bruc i arboç																																																			
Observacions	Aclarida de millora, llevat de suro dde qualitat reduïda 2018 Despelegrinatge i tractament fitosanitari 2018																																																			
PTGMF-2-2014																																																				
Nombre de peus total	525	FCC	50%	Àrea basal total 24 m ²																																																
Altura arbre dominant	8 m																																																			
Sotabosc	Bruc, esbarzer i arboç	FCC	40%	H 0,5 m																																																
Observacions	Sotabosc baixa degut a l'estassada de l'any anterior																																																			
TC-3-2021																																																				
Nombre de peus total	1210	FCC	90%	Àrea basal total 53.16 m ²																																																
Altura arbre dominant	10 m																																																			
<p>Classificació diametral</p> <table border="1"> <caption>Data for TC-3-2021 Diameter Classification</caption> <thead> <tr> <th>Diàmetre mitjà (cm)</th> <th>Au</th> <th>Qi</th> <th>Qs</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>160</td><td>220</td></tr> <tr><td>2</td><td>30</td><td>0</td><td>250</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>120</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>60</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>160</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>160</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td><td>30</td></tr> </tbody> </table>		Diàmetre mitjà (cm)	Au	Qi	Qs	1	0	160	220	2	30	0	250	3	0	0	120	4	0	0	60	5	0	0	160	6	0	0	160	7	0	0	30	<p>Àrea basal (m²/ha)</p> <table border="1"> <caption>Data for TC-3-2021 Basal Area</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Value (m²/ha)</th> <th>Percentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Qi</td><td>0.41</td><td>1%</td></tr> <tr><td>Au</td><td>1.46</td><td>3%</td></tr> <tr><td>Qs</td><td>51.30</td><td>96%</td></tr> </tbody> </table>			Category	Value (m ² /ha)	Percentage	Qi	0.41	1%	Au	1.46	3%	Qs	51.30	96%				
Diàmetre mitjà (cm)	Au	Qi	Qs																																																	
1	0	160	220																																																	
2	30	0	250																																																	
3	0	0	120																																																	
4	0	0	60																																																	
5	0	0	160																																																	
6	0	0	160																																																	
7	0	0	30																																																	
Category	Value (m ² /ha)	Percentage																																																		
Qi	0.41	1%																																																		
Au	1.46	3%																																																		
Qs	51.30	96%																																																		
Sotabosc arbustiu	Bruc, arboç, galzeran, argelaga negra	FCC	85%	H 2,5 - 3 m																																																
Sotabosc herbaci	Falzia negra abundant i rogeta																																																			
Observacions	Suros al terra de la regeneració i llenya Regeneració roure i de suro de gla																																																			





FITXA DESCRIPTIVA (2/2)	RODAL	5	Principal
	TFA	Suredes (Qs)	
Formació arbòria i arbustiva general			
PTGMF-1-1995	(Dades 1994, abans de l'incendi forestal)		
Nombre de peus total	1226	FCC	- Àrea basal total 31.9 m ²
Altura arbre dominant	12	Qs	cd 10 15 20 25 30 35 40 45
Sotabosc		ind/ha	175 150 175 300 25 175 25 25
Observacions	Incendi 1994, zona totalment cremada Dendrometria 1994 (abans del incendi) 1999 Extracció suro cremat i estassada		
	0		
PTGMF-2-2005			
Nombre de peus total	5729	FCC	50% Àrea basal total 36.3 m ²
Altura arbre dominant	9.3 m		
<p>Classificació diametral</p> 		<p>Àrea basal (m²/ha)</p> 	
Sotabosc	Estepa borrera, bruc d'escombres, herba de remuc, galzeran, ridorta, esbarzer, argelaga negra, ginesta, lleterassa, tomanyí, roldor, esparraguera, romani, farigola, estepa negra		
Observacions	2013 Estassada i extracció de suro cremat		
TC-3-2021			
Nombre de peus total	2071	FCC	70% Àrea basal total 40.62 m ²
Altura arbre dominant	12-15 m		
<p>Classificació diametral</p> 		<p>Àrea basal (m²/ha)</p> 	
Sotabosc arbustiu	Mata d'alzina i arboç	FCC	60% H 3m
Sotabosc herbaci	Bruc d'escombres, llentiscle, esparraguera, argelaga negra, aritjol		
Observacions	Alta regeneració de l'alzina i suro Molts pelgrins per pelar i alguns suros joves morts per sequera o afogament		

FITXA DESCRIPTIVA	(2/2)	RODAL	8	Principal
		TFA	Plantacions de Pi Insigne (Pr)	
Formació arbòria i arbustiva general				
PTGMF-1-2001				
Nombre de peus total	672	FCC	90%	Àrea basal total 31.49 m ²
Altura arbre dominant	17 m			
<p style="text-align: center;">Classificació diametral</p>		<p style="text-align: center;">Àrea basal (m²/ha)</p>		
Sotabosc	Aritjol i esbarzer			
Observacions	No hi han tasques forestals Edat dels arbres 13 anys			
PTGMF-2-2014				
Nombre de peus total	400	FCC	25%	Àrea basal total 29 m ²
Altura arbre dominant	22			
Sotabosc	Falguera i esbarzer	FCC	100%	H 1 m
Observacions	No hi han tasques forestals			
TC-3-2021				
Nombre de peus total	462	FCC	75%	Àrea basal total 57.17 m ²
Altura arbre dominant	22-24 m			
<p style="text-align: center;">Classificació diametral</p>		<p style="text-align: center;">Àrea basal (m²/ha)</p>		
Sotabosc arbustiu	Esbarzer, heura	FCC	5%	H 2-3m
Sotabosc herbaci	Falguera			
Observacions	Alta regeneració d'alzina i freixa i regeneració moderada d'alzina surera Molts peus morts de la regeneració per falta de llum No hi han tasques forestals			

FITXA DESCRIPTIVA	(2/2)	RODAL	14	Principal																																							
		TFA	Plantacions de Pi Insigne (Pr)																																								
Formació arbòria i arbustiva general																																											
PTGMF-1-1995																																											
Nombre de peus total		- FCC		- Àrea basal total																																							
Altura arbre dominant		-																																									
Sotabosc																																											
Observacions	Incendi 1994, zona totalment cremada																																										
	Planificada repoblació de pins insignes 1995-1996																																										
PTGMF-2-2005																																											
Nombre de peus total	1528	FCC	60%	Àrea basal total																																							
Altura arbre dominant	14 m			25.01 m ²																																							
<p>Classificació diametral</p> <table border="1"> <caption>Data for PTGMF-2-2005 Diameter Classification</caption> <thead> <tr> <th>Diàmetre mitjà (cm)</th> <th>Pr (peus/ha)</th> <th>Ag (peus/ha)</th> <th>Jr (peus/ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CD10</td> <td>~580</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>CD15</td> <td>~730</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>CD20</td> <td>~160</td> <td>~30</td> <td>~20</td> </tr> <tr> <td>CD25</td> <td>~30</td> <td>0</td> <td>~30</td> </tr> </tbody> </table>		Diàmetre mitjà (cm)	Pr (peus/ha)	Ag (peus/ha)	Jr (peus/ha)	CD10	~580	0	0	CD15	~730	0	0	CD20	~160	~30	~20	CD25	~30	0	~30	<p>Àrea basal (m²/ha)</p> <table border="1"> <caption>Data for PTGMF-2-2005 Basal Area</caption> <thead> <tr> <th>Especie</th> <th>Àrea basal (m²/ha)</th> <th>Porcentatge</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pr</td> <td>22.43</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>Jr</td> <td>1.57</td> <td>6%</td> </tr> <tr> <td>Ag</td> <td>1.01</td> <td>4%</td> </tr> </tbody> </table>			Especie	Àrea basal (m ² /ha)	Porcentatge	Pr	22.43	90%	Jr	1.57	6%	Ag	1.01	4%							
Diàmetre mitjà (cm)	Pr (peus/ha)	Ag (peus/ha)	Jr (peus/ha)																																								
CD10	~580	0	0																																								
CD15	~730	0	0																																								
CD20	~160	~30	~20																																								
CD25	~30	0	~30																																								
Especie	Àrea basal (m ² /ha)	Porcentatge																																									
Pr	22.43	90%																																									
Jr	1.57	6%																																									
Ag	1.01	4%																																									
Sotabosc	Esbarzer, heura i ridorta																																										
Observacions	Aclarida de peus, poda i estassada 2004																																										
	Edat de la plantació 10 anys																																										
TC-3-2021																																											
Nombre de peus total	350	FCC	70%	Àrea basal total																																							
Altura arbre dominant	40-45 m			39.06 m ²																																							
<p>Classificació diametral</p> <table border="1"> <caption>Data for TC-3-2021 Diameter Classification</caption> <thead> <tr> <th>Diàmetre mitjà (cm)</th> <th>Pr (peus/ha)</th> <th>Qpe (peus/ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CD15</td> <td>~15</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>CD20</td> <td>~15</td> <td>~15</td> </tr> <tr> <td>CD25</td> <td>~28</td> <td>~15</td> </tr> <tr> <td>CD30</td> <td>~28</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>CD35</td> <td>~125</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>CD40</td> <td>~42</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>CD45</td> <td>~42</td> <td>~15</td> </tr> <tr> <td>CD50</td> <td>~15</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>CD55</td> <td>~28</td> <td>~15</td> </tr> </tbody> </table>		Diàmetre mitjà (cm)	Pr (peus/ha)	Qpe (peus/ha)	CD15	~15	0	CD20	~15	~15	CD25	~28	~15	CD30	~28	0	CD35	~125	0	CD40	~42	0	CD45	~42	~15	CD50	~15	0	CD55	~28	~15	<p>Àrea basal (m²/ha)</p> <table border="1"> <caption>Data for TC-3-2021 Basal Area</caption> <thead> <tr> <th>Especie</th> <th>Àrea basal (m²/ha)</th> <th>Porcentatge</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pr</td> <td>37.88</td> <td>97%</td> </tr> <tr> <td>Qpe</td> <td>1.18</td> <td>3%</td> </tr> </tbody> </table>			Especie	Àrea basal (m ² /ha)	Porcentatge	Pr	37.88	97%	Qpe	1.18	3%
Diàmetre mitjà (cm)	Pr (peus/ha)	Qpe (peus/ha)																																									
CD15	~15	0																																									
CD20	~15	~15																																									
CD25	~28	~15																																									
CD30	~28	0																																									
CD35	~125	0																																									
CD40	~42	0																																									
CD45	~42	~15																																									
CD50	~15	0																																									
CD55	~28	~15																																									
Especie	Àrea basal (m ² /ha)	Porcentatge																																									
Pr	37.88	97%																																									
Qpe	1.18	3%																																									
Sotabosc arbustiu	Esbarzer i peus de castanyers, saüc, avellaner, roure de fulla gran																																										
Sotabosc herbaci	Falguera, heura																																										
Observacions	Gairebé inexistent per afogament i falta de llum derivada de la capa arbòria densa																																										
	Peus menors d'alzinar, roure, arboç.																																										

FITXA DESCRIPTIVA	(2/2)	RODAL	23	Principal
		TFA	Boscós mixtos de surera i alzines (Qs_Qii)	
Formació arbòria i arbustiva general				
PTGMF-1-2001				
Nombre de peus total	1050	FCC	95%	Àrea basal total 28,64 m ²
Altura arbre dominant	9-10 m			
<p>Classificació diametral</p>		<p>Àrea basal (m²)</p>		
Sotabosc	Bruc d'escombres, arboç i estepa			
Observacions	No hi han tasques forestals dels anys 50-60			
PTGMF-2-2014				
Nombre de peus total	1425	FCC	75%	Àrea basal total 37 m ²
Altura arbre dominant	7 m			
Sotabosc	Bruc, arboç i esbarzer	FCC	40%	H 3 m
Observacions	Estassada, aclarida de peus, manteniment i afavoriment del Qs 2018 Llevat de suro i tractament fotosanitari del Qs 2018			
TC-3-2021				
Nombre de peus total	1435	FCC	75%	Àrea basal total 41.41 m ²
Altura arbre dominant	10 m			
<p>Classificació diametral</p>		<p>Àrea basal (m²)</p>		
Sotabosc arbustiu	Molta estepa borrera	FCC	60%	H 2.5-3m
Sotabosc herbaci	Heura i rogeta			
Observacions	Moltes restes d'esporga i neteja al terra Peus menors d'alzinar, roure, arboç			

Annex 4: Parcel·les pseudoinvariants

PARCEL·LES PSEUDOINVARIANTS		18, 21								
Dades de control										
PARCEL·LA 18	Pseudoinvariant									
Nom	Pantà Santa Fe									
Superfície rodal	1.03	ha								
Municipi	Santa Fe del Montseny									
Cordenades	X (m)	Y (m)								
Punt central	455910.4	4624211.1								
Altitud (MET)										
Coberta principal	Aigua									
Data:	2020									
Observacions	Coberta fosca									
Dades de control										
PARCEL·LA 21	Pseudoinvariant									
Nom	Pedrera de Can Viader									
Superfície rodal	1.03	ha								
Municipi	Gualba									
Cordenades	X (m)	Y (m)								
Punt central	459019.6	4622386.8								
Altitud (MET)	605 m									
Coberta principal	Pedrera									
Data:	2020									
Observacions	Coberta blanca									