



1r Inventari Nacional Forestal (INF1) del Principat d'Andorra

Estimació de l'estoc i l'embornal de carboni
total als boscos d'Andorra

Juny 2023

1r Inventari Nacional Forestal (INF1) del Principat d'Andorra. Estimació de l'estoc i l'embornal de carboni total als boscos d'Andorra.

Conceptualització i elaboració per part del Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya:

Mario Beltrán Barba
Eduard Busquets Olivé
Guillem Llena Gasol
Míriam Piqué Nicolau

Programa de Gestió Forestal Multifuncional, CTFC

Amb la col·laboració de:

Aitor Améztegui González, **Universitat de Lleida - Programa de Gestió Forestal Multifuncional, CTFC**

Participació tècnica per part d'Andorra Recerca + Innovació:

Marta Domènech Ferrés, **responsable del projecte "Inventari Nacional Forestal d'Andorra"**
Oriol Travesset Baró, **coordinador de l'eix Sostenibilitat**

Andorra Recerca + Innovació agraeix el finançament rebut per part de l'Oficina de l'Energia i del Canvi Climàtic d'Andorra en el marc de l'estudi d'impactes i vulnerabilitats del canvi climàtic i la capacitat d'embornal d'Andorra.



Beltrán, M., Busquets, E., Llena, G., Piqué, M., Domènech, M., Travesset, O. 2023. 1r Inventari Nacional Forestal (INF1) del Principat d'Andorra. Estimació de l'estoc i l'embornal de carboni total als boscos d'Andorra. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya i Andorra Recerca + Innovació.



1. Introducció i objectiu	4
2. Materials i mètodes	4
2.1. Esquema general.....	4
2.2. Àmbit d'estudi.....	4
2.3. Dades de partida	6
2.4. Càlcul del carboni a les parcel·les.....	9
2.4.1. Carboni de l'estrat arbori.....	9
2.4.2. Carboni de l'estrat arbustiu	15
2.4.3. Carboni de la fusta morta en peu i a terra.....	16
2.4.4. Carboni de la matèria orgànica del sòl	17
3. Resultats	21
3.1. Estoc i embornal de carboni en l'estrat arbori.....	21
3.2. Estoc de carboni en l'estrat arbustiu.....	23
3.3. Estimació de l'estoc de carboni d'altres elements forestals	25
3.3.1. Carboni de la fusta morta en peu i a terra.....	25
3.3.2. Carboni de la matèria orgànica del sòl	26
3.4. Resultat total d'estoc de carboni als boscos d'Andorra	28
4. Discussió	31
Referències bibliogràfiques	33
Annex 1. Taules equivalents segons hàbitats.....	34
Annex 2. Glossari	42



1. Introducció i objectiu

La quantificació del carboni emmagatzemat i de la capacitat de fixació de carboni dels boscos és una matèria cabdal en el context actual de canvi climàtic i global. A Andorra, a banda de les estimacions generals seguint la metodologia de l'IPCC, es va realitzar un estudi preliminar l'any 2009 per part del CTFC. Aquell estudi va aproximar l'estoc i la fixació de carboni a partir de les dades de boscos catalans procedents del 3er Inventari Forestal Nacional d'Espanya (DGCN, 2001) de les mateixes espècies que les definides a Andorra amb el Mapa Forestal del Principat de l'any 2002.

L'objectiu d'aquest informe és quantificar el carboni emmagatzemat actualment als boscos d'Andorra i la seva capacitat d'embornal (taxa de fixació anual), a partir de les dades proporcionades per l'inventari de les parcel·les permanents del 1r Inventari Nacional Forestal d'Andorra realitzat durant l'estiu de 2022. La descripció i metodologia d'aquest inventari es descriu al document de Beltrán *et al.* (2023).

En concret, es quantifica el Carboni Aeri Total (CAT), el Carboni Subterrani Total (CST), l'Increment Anual de Carboni Aeri Total (ICAT) i l'Increment Anual de Carboni Subterrani Total (ICST), de l'estrat arbori i el Carboni Aeri Total (CAT) de l'estrat arbustiu. També es realitza una aproximació de la capacitat d'estoc de carboni d'altres elements forestals, com són el Carboni en la Matèria Orgànica del Sòl (CMO) i el Carboni de la Fusta Morta (CFM) en els boscos d'Andorra.

Com a resultat s'obté la quantificació de l'estoc i l'embornal de carboni de diferents fraccions de la matèria orgànica a data de 2022 a partir de dades dasomètriques mesurades sobre el terreny amb una mostra representativa dels boscos d'Andorra.

2. Materials i mètodes

2.1. Esquema general

La metodologia general es basa en l'ús de les dades de l'INF-AND (base de dades del 1r Inventari Nacional Forestal d'Andorra realitzat durant l'estiu de 2022) respecte a l'estrat arbori, l'estrat arbustiu i la fusta morta en peu i a terra, combinades amb al·lometries i models disponibles per a tipus de boscos semblants d'àmbits propers, bàsicament d'estudis fets per al Pirineu català. Tot partint de les mesures de l'arbrat, del matoll i de la fusta morta de les parcel·les INF, es realitzen els càlculs per unitat de superfície fins a la quantificació del carboni, essent les parcel·les representatives dels diferents estrats d'inventari definits, a partir dels quals s'obté la quantificació total per als boscos d'Andorra.

En el cas del càlcul de l'estoc de carboni de la matèria orgànica, atès que no ha estat objecte de mesura directa a les parcel·les de l'INF, s'ha realitzat una estimació a partir de la informació proporcionada per les formacions arbrades en l'Espanya peninsular i Balears de López-Senespleda *et al.* (2021), tot ajustant-se a les característiques pròpies dels boscos d'Andorra.

2.2. Àmbit d'estudi

L'estimació de l'estoc i de l'embornal de carboni es realitza sobre la vegetació arbrada de la superfície forestal, la qual ha estat segmentada en estrats per a la realització de l'INF, tal com es detalla al document de Metodologia d'establiment i seguiment de la xarxa de parcel·les permanents.



Els estrats d'inventari corresponen a la divisió de la superfície forestal arbrada d'Andorra identificada a partir del Mapa digital dels Hàbitats d'Andorra de l'any 2012¹, més la delimitació dels Boscos de protecció i defensa de totes les parròquies del CENMA-IEA, i aplicant un filtre que elimina tota aquella coberta no forestal identificada pel Mapa de Cobertes del Sòl d'Andorra de 2012² (roquissars, superfície agrícola, infraestructures i altres no forestals), que té una definició més acurada que el mapa d'hàbitats.

En total s'identifiquen 15 estrats (Figura 1) per a les 18.226,97 ha de superfície forestal arbrada (Taula 1).

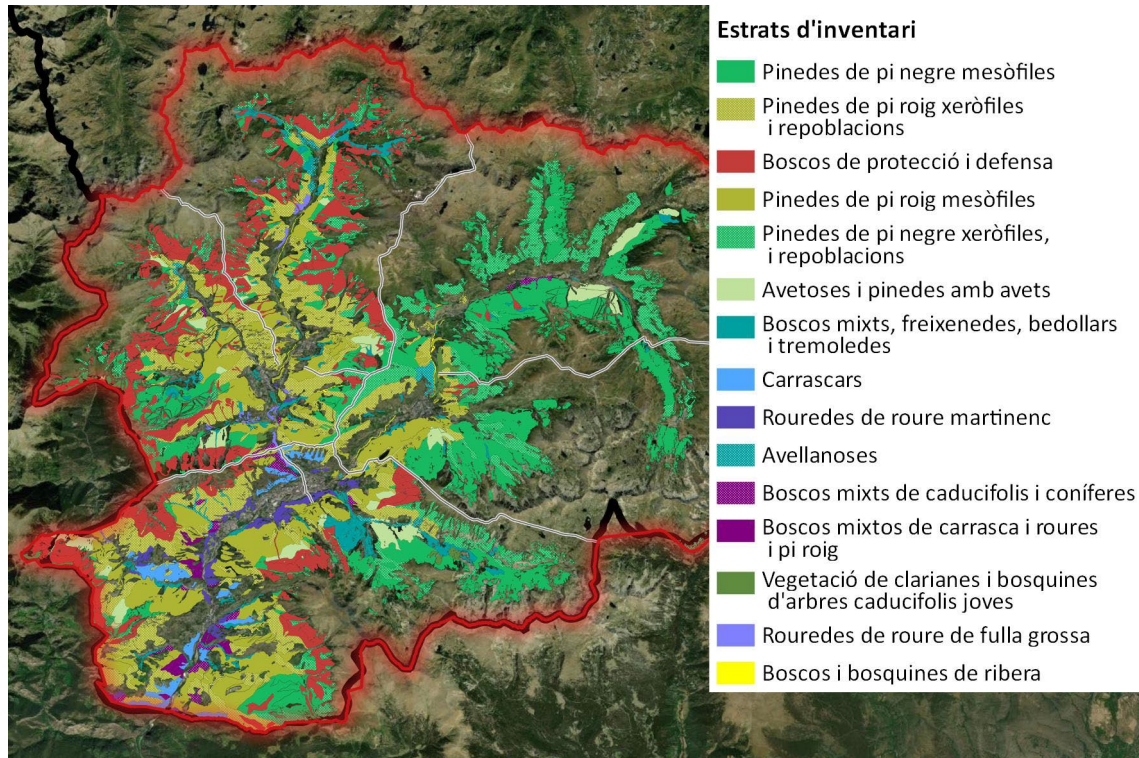


Figura 1. Estrats de la superfície forestal arbrada d'Andorra emprats per a la distribució de les parcel·les permanents de l'Inventari Nacional Forestal.

¹ Mapa digital dels Hàbitats d'Andorra: <https://www.iea.ad/mapa-digital-dels-habitats-d-andorra-2012>

² Mapa de Cobertes del Sòl d'Andorra: <https://www.iea.ad/mapa-de-cobertes-del-sol-d-andorra-2012>

Taula 1. Superfície i representativitat dels diferents estrats forestals arbrats.

Estrat d'inventari	Codi	Superfície	
		ha	%
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	4.212,54	23,1
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	3.302,33	18,1
Bosc de protecció i defensa	BPD	3.266,10	17,9
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	2.663,02	14,6
Pinedes de pi negre xeròfiles i repoblacions	PNX	2.328,89	12,8
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	641,91	3,5
Bosc mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	614,43	3,4
Carrascars	CAR	324,47	1,8
Rouredes de roure martinenc	RMR	249,60	1,4
Avellanoses	COR	160,67	0,9
Bosc mixtos de caducifolis i coníferes	BMC	153,10	0,8
Bosc mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	124,59	0,7
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	85,51	0,5
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	71,85	0,4
Bosc i bosquines de ribera	BBR	27,97	0,2
		18.226,98	

2.3. Dades de partida

Es disposa de les dades de les 194 parcel·les de l'INF publicades a la base de dades d'accés lliure ([BD-INF1-AND](#)³). Aquestes dades tenen la funció de representativitat de la superfície forestal arbrada i dels seus estrats, així com la de constituir una mostra de "veritat-terreny" per a estimacions a escala de paisatge. La descripció de la informació aquí emprada es pot trobar a la publicació sobre els mètodes l'INF (Beltrán *et al.* 2023).

En concret, s'utilitza la informació referent als arbres vius inventariables respecte l'espècie, el diàmetre normal (Dn) i l'alçada total (Ht); la referent a l'estrat arbustiu respecte l'espècie, l'alçada (Hm) i el recobriment estimat (Rm); la referent a la fusta morta en peu respecte a l'espècie, el diàmetre normal (Dnm) i l'alçada total (Htm); i la referent a la fusta morta a terra respecte a l'espècie, el diàmetre central (Dcm) i la llargada (Ltm). En el cas dels arbres vius també es processa la informació referent a l'Aspecte per avaluar la necessitat o no de diferenciar càlculs posteriors si es detecta un nombre rellevant de peus d'aspecte diferent al normal (segons es descriu al Protocol d'inventari). Per a l'estimació del carboni de la matèria orgànica del sòl s'ha emprat també l'altitud del terreny segons el MDE de l'IDE d'Andorra.

La Taula 2 mostra les característiques de les dades de partida de l'INF, que contenen 9.137 arbres vius mesurats de 25 espècies diferents, 446 matolls amb dades estimades de 30 espècies diferents, 764 arbres morts en peu mesurats de 15 espècies diferents i 302 arbres morts a terra mesurats de 14 espècies diferents.

³ Accés a la base de dades: <https://ari.ad/bd-inf1-and>

Taula 2. Estadístics descriptius de les dades de partida procedents de les parcel·les de l'INF.

Variable	Unitat	N dades	Mitjana	Desviació estàndard	Percentil 0	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 100	Histograma
Aspecte		9.137	1,02	0,146	1	1	1	1	2	
Dn	cm	9.137	21,2	10,60	7,5	12,6	19,3	27,6	82,0	
Ht	m	1.142	12,0	4,08	2,2	9,0	11,9	14,9	32,7	
Hm	cm	446	94,4	82,70	10,0	40,0	60,0	120,0	500,0	
Rm	%	446	28,5	24,50	12,5	12,5	12,5	37,5	87,5	
Dnm	cm	764	17,7	9,34	7,5	10,5	15,3	22,0	66,0	
Htm	m	187	5,2	3,26	0,8	2,5	4,5	7,4	13,6	
Dcm	cm	302	23,6	6,77	17,5	19,0	22,0	25,4	57,5	
Ltm	cm	302	483	336	50	200	400	736	2000	

La Taula 3 mostra la caracterització per estrats de la informació dasomètrica (arbres vius inventariables) i la Taula 4 mostra la corresponent per espècies.

Taula 3. Caracterització dels diferents estrats d'inventari segons les dades disponibles de l'INF respecte els arbres vius inventariables.

Estrat	N parcel·les	N arbres	N alçades	Aspecte		Diàmetre normal (cm)			Alçada total (m)		
				1	2	Min	Mitjà	Màx	Min	Mitjana	Màx
Total	194	9.137	1142	8.939	198	7,5	21,2	82,0	2,2	12,0	32,7
Pinedes de pi negre mesòfiles	43	2.036	252	2.009	27	7,5	21,2	72,9	4,0	12,1	20,9
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	34	1.389	200	1.364	25	7,5	23,4	80,7	2,2	12,0	24,0
Bosc de protecció i defensa	35	1.823	209	1.780	43	7,5	19,9	71,8	3,9	11,5	21,1
Pinedes de pi roig mesòfiles	27	1.208	160	1.188	20	7,5	23,1	72,0	5,1	15,1	32,7
Pinedes de pi negre xeròfiles i repoblacions	30	1.388	178	1.349	39	7,5	22,6	82,0	3,1	10,8	18,0
Avetoses i pinedes amb avets	6	339	34	313	26	7,5	21,7	53,0	6,3	14,1	22,7
Bosc mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	6	316	36	310	6	7,5	18,2	78,5	3,4	11,8	19,7
Carrascars	3	156	18	154	2	7,6	15,1	46,5	3,1	7,2	14,3
Rouredes de roure martinenc	3	143	17	142	1	7,5	14,5	55,8	3,7	8,5	17,3
Avellanoses	2	99	12	97	2	7,5	13,7	64,5	3,7	8,4	14,7
Bosc mixts de caducifolis i coníferes	1	28	6	28	0	8,2	17,2	43,0	6,6	8,3	10,1
Bosc mixtos de carrasca i roures i pi roig	2	117	8	113	4	7,5	13,1	38,9	4,0	7,6	11,5

Estrat	N parcel·les	N arbres	N alçades	Aspecte		Diàmetre normal (cm)			Alçada total (m)		
				1	2	Min	Mitjà	Màx	Min	Mitjana	Màx
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	1	63	6	60	3	7,7	13,9	50,8	7,4	11,1	15,2
Rouredes de roure de fulla grossa	1	32	6	32	0	8,3	23,5	63,0	5,2	13,4	19,1
Bosc i bosquines de ribera	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Taula 4. Caracterització de les diferents espècies arbòries segons les dades disponibles de l'INF respecte els arbres vius inventariables.

Espècie		N parcel·les	N arbres	N alçades	Aspecte		Diàmetre normal (cm)			Alçada total (m)		
					1	2	Min	Mitjà	Màx	Min	Mitjana	Màx
<i>Pinus uncinata</i>	Pu	113	4.721	594	4.595	126	7,5	21,7	82,0	3,1	11,6	22,1
<i>Pinus sylvestris</i>	Ps	98	2.954	414	2.900	54	7,5	24,1	80,7	2,2	13,2	26,7
<i>Abies alba</i>	Aa	30	451	35	448	3	7,5	14,9	53,0	6,2	12,6	22,7
<i>Betula pendula</i>	Bpe	36	275	28	269	6	7,5	12,9	34,9	3,9	9,1	16,2
<i>Quercus ilex rotundifolia</i>	Qir	11	267	18	264	3	7,5	10,8	26,1	3,1	5,9	12,0
<i>Quercus pubescens</i>	Qh	16	119	23	118	1	7,5	17,0	55,8	4,9	9,1	17,3
<i>Sorbus aucuparia</i>	Sau	19	122	5	121	1	7,5	11,8	24,0	7,7	11,7	16,5
<i>Fraxinus excelsior</i>	Fe	2	52	8	50	2	7,5	13,9	28,7	9,9	13,4	16,7
<i>Quercus petraea</i>	Qpe	2	27	3	27	0	8,3	20,0	43,3	5,2	9,6	12,0
<i>Salix caprea</i>	Sac	10	39	1	39	0	8,2	16,2	56,8	7,8	7,8	7,8
<i>Corylus avellana</i>	Coa	3	27	5	27	0	7,5	10,7	17,3	4,5	6,4	8,4
<i>Juniperus communis</i>	Juc	4	16	0	15	1	7,5	10,5	23,4	-	-	-
<i>Betula pubescens</i>	Bpu	2	13	1	12	1	7,5	10,6	16,4	10,0	10,0	10,0
<i>Rhamnus alpina</i>	Rha	3	11	0	11	0	7,5	8,4	9,6	-	-	-
<i>Acer campestre</i>	Ac	1	7	1	7	0	7,5	12,8	22,5	6,0	6,0	6,0
<i>Prunus avium</i>	Pa	3	7	2	7	0	7,5	10,7	14,4	3,7	6,2	8,7
<i>Populus nigra</i>	Pon	1	7	2	7	0	16,5	32,7	41,9	31,9	32,3	32,7
<i>Buxus sempervirens</i>	Bus	4	5	0	5	0	7,6	8,7	10,2	-	-	-
<i>Populus tremula</i>	Pot	2	5	2	5	0	26,1	32,3	41,4	13,8	16,6	19,3
<i>Tilia platyphyllos</i>	Tp	1	5	0	5	0	21,5	26,6	32,3	-	-	-
<i>Ilex aquifolium</i>	Ila	1	2	0	2	0	9,0	9,1	9,2	-	-	-
<i>Salix atrocinerea</i>	Saa	1	2	0	2	0	8,4	9,3	10,2	-	-	-
<i>Acer monspessulanum</i>	Amon	1	1	0	1	0	11,5	11,5	11,5	-	-	-
<i>Crataegus monogyna</i>	Crm	1	1	0	1	0	7,5	7,5	7,5	-	-	-

Espècie		N parcel·les	N arbres	N alçades	Aspecte		Diàmetre normal (cm)			Alçada total (m)		
					1	2	Min	Mitjà	Màx	Min	Mitjana	Màx
<i>Juglans regia</i>	Jr	1	1	0	1	0	32,0	32,0	32,0	-	-	-

2.4. Càlcul del carboni a les parcel·les

2.4.1. Carboni de l'estrat arbori

El carboni aeri (CAT) i subterrani (CST) a les parcel·les INF es calcula mitjançant l'estimació de Biomassa Aèria i Subterrània Total (BAT i BST), mentre que els increments de carboni (ICAT i ICST) es basen en l'estimació de l'increment anual de volum amb escorça (IAVC). Els paràmetres BAT, BST i IAVC es calculen a escala d'arbre (per després fer l'agregació per parcel·la) amb l'aplicació d'equacions al·lomètriques que depenen del Dn, Ht i l'espècie de cada arbre. Per tant el primer pas és completar les dades de Ht per a tots els arbres de l'inventari als quals no se'ls ha mesurat, també amb equacions al·lomètriques (Taula 5).

Per a *Abies alba*, *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Pinus uncinata*, *Quercus pubescens* i *Quercus ilex rotundifolia* es disposa de suficients dades Dn-Ht mesurades a l'INF-AND per poder elaborar al·lometries pròpies i, a més, en el cas del pi roig i del pi negre les dades permeten generar al·lometries diferents segons si es troben en hàbitat xeròfil o mesòfil. Per a la resta d'espècies s'apliquen les al·lometries disponibles al Laboratori Forestal Català (LFC)⁴ amb l'origen que s'indica a la taula per a cada espècie, segons sigui l'Inventari Forestal Nacional 3 (IFN3, per províncies) o l'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya (IEFC, per comarques o general de Catalunya). S'ha seleccionat l'al·lometria que menor error generava respecte a les dades mesurades de cada espècie, en aquelles 10 espècies amb dades disponibles de l'INF-AND però no suficients per generar una al·lometria pròpia. Per a les restants 9 espècies sense dades de Ht mesurades però presents a l'inventari amb dades de Dn s'ha seleccionat l'al·lometria corresponent a la zona més propera sempre que la mostra d'origen tingués més de 100 dades, o bé el coeficient R² fos superior a 0,75.

Taula 5. Equacions al·lomètriques emprades per a calcular l'alçada total de tots els arbres a partir del diàmetre normal. Provenen del Laboratori Forestal Català excepte les indicades com a "INF-AND" que han estat elaborades amb dades pròpies. *Pinus sylvestris* i *Pinus uncinata* es diferencien per als hàbitats xeròfils (*Ps_x*, *Pu_x*) i mesòfils (*Ps_m*, *Pu_m*).

Espècie	Ht=f(Dn)	a	b	Origen
Aa	$Ht (m) = a \cdot Dn^b$	1,4389	0,7255	INF-AND
Ac	$Ht (m) = a \cdot Dn^b$	3,63122896	0,298391063	IFN3-Lleida
Amon	$Ht (m) = a \cdot Dn^b$	2,540580273	0,359469444	IEFC-Alt Empordà
Bpe	$Ht (m) = a \cdot Dn^b$	2,2258	0,5314	INF-AND
Bpu	$Ht (m) = a \cdot Dn^b$	4,218613902	0,364596064	IFN3-Espanya
Bus	$Ht (m) = a \cdot Dn^b$	4,096881846	0,11674449	IFN3-Lleida
Coa	$Ht (m) = a \cdot Dn^b$	8,027291298	-0,100152373	IEFC-Cerdanya
Crm	$Ht (m) = a \cdot Dn^b$	1,201610374	0,687940176	IFN3-Lleida
Fe	$Ht (m) = a \cdot Dn^b$	3,011867523	0,536519587	IEFC-Cerdanya
Ila	$Ht (m) = a \cdot Dn^b$	3,161551952	0,378243208	IEFC-Catalunya

⁴ Laboratori Forestal Català: <https://laboratoriforestal.creaf.cat/>

Espècie	Ht=f(Dn)	a	b	Origen
Jr	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	2,975996949	0,475910814	IFN3-Lleida
Juc	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	1,1985991	0,756500661	IEFC-Catalunya
Pa	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	1,784385175	0,62843692	IFN3-Lleida
Pon	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	1,349214435	0,851224959	IEFC-Noguera
Pot	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	3,089689255	0,509431779	IEFC-Catalunya
Ps_x	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	2,2485	0,5067	INF-AND
Ps_m	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	2,9159	0,4898	INF-AND
Pu_x	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	4,3740	0,2806	INF-AND
Pu_m	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	3,2135	0,3974	INF-AND
Qh	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	1,6962	0,5586	INF-AND
Qir	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	0,4886	0,9636	INF-AND
Qpe	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	2,227287854	0,470756623	IFN3-Lleida
Rha	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	1,876510034	0,520784365	IFN3-Alava
Saa	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	2,588857303	0,388467304	IFN3-Lleida
Sac	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	1,858492732	0,623984039	IEFC-Pallars Sobirà
Sau	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	4,229165159	0,374770679	IFN3-Barcelona
Tp	$Ht(m) = a \cdot Dn^b$	3,8162356	0,363092449	IFN3-Lleida

Seguidament s'apliquen les al·lometries que permeten estimar a cada arbre BAT i BST, que es transformen a CAT i CST tot multiplicant per 0,5 (Taula 6 i Taula 7). Les equacions per a BAT provenen totes de l'IEFC a escala de Catalunya, i no es diferencien els hàbitats del pi roig i el pi negre. Les de BST provenen de la base de dades de l'Institut de Ciències Forestals (ICIFOR-INIA, CSIC) i es refereixen per a l'àmbit d'Espanya (Menéndez-Miguélez *et al.*, 2021).

Taula 6. Equacions al·lomètriques emprades per a calcular BAT de tots els arbres a partir del diàmetre normal i l'alçada total.

Espècie	BAT=f(Dn,Ht)	a	b	c	Origen
Aa	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,05749645	2,11045244	0,54427556	IEFC-Cat
Ac	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,07796081	2,06398786	0,50502514	IEFC-Cat
Amon	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,07796081	2,06398786	0,50502514	IEFC-Cat
Bpe	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,06993724	1,91560028	0,6158436	IEFC-Cat
Bpu	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,06993724	1,91560028	0,6158436	IEFC-Cat
Bus	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,0830164	1,93786479	0,74785415	IEFC-Cat
Coa	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,07796081	2,06398786	0,50502514	IEFC-Cat
Crm	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,07796081	2,06398786	0,50502514	IEFC-Cat
Fe	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,03858946	2,08937003	0,81021359	IEFC-Cat
Ila	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,0830164	1,93786479	0,74785415	IEFC-Cat
Jr	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,07796081	2,06398786	0,50502514	IEFC-Cat
Juc	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,05961788	2,04536855	0,53971859	IEFC-Cat
Pa	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,07796081	2,06398786	0,50502514	IEFC-Cat
Pon	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,08747178	1,83211484	0,62330141	IEFC-Cat
Pot	$BAT(kg) = a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,026085	2,02172935	0,97437522	IEFC-Cat

Espècie	BAT=f(Dn,Ht)	a	b	c	Origen
Ps	BAT (kg) = $a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,05539335	2,04694079	0,55768901	IEFC-Cat
Pu	BAT (kg) = $a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,05370209	2,03016707	0,59328472	IEFC-Cat
Qh	BAT (kg) = $a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,07796761	2,07601461	0,51046687	IEFC-Cat
Qir	BAT (kg) = $a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,11450731	2,079071	0,41851695	IEFC-Cat
Qpe	BAT (kg) = $a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,07259361	2,24717669	0,37327046	IEFC-Cat
Rha	BAT (kg) = $a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,0830164	1,93786479	0,74785415	IEFC-Cat
Saa	BAT (kg) = $a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,07796081	2,06398786	0,50502514	IEFC-Cat
Sac	BAT (kg) = $a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,07796081	2,06398786	0,50502514	IEFC-Cat
Sau	BAT (kg) = $a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,07796081	2,06398786	0,50502514	IEFC-Cat
Tp	BAT (kg) = $a \cdot Dn^b \cdot Ht^c$	0,07796081	2,06398786	0,50502514	IEFC-Cat

Taula 7. Equacions al·lomètriques emprades per a calcular BST de tots els arbres a partir del diàmetre normal i l'alçada total.

Espècie	BST=f(Dn)	a	b	Origen
Aa	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,03202452	2,32302	INIA-Esp
Ac	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,25158791	1,96764	INIA-Esp
Amon	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,25158791	1,96764	INIA-Esp
Bpe	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,09663082	2,01124	INIA-Esp
Bpu	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,09663082	2,01124	INIA-Esp
Bus	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,25158791	1,96764	INIA-Esp
Coa	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,25158791	1,96764	INIA-Esp
Crm	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,25158791	1,96764	INIA-Esp
Fe	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,37778621	1,98752	INIA-Esp
Ila	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,25158791	1,96764	INIA-Esp
Jr	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,25158791	1,96764	INIA-Esp
Juc	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,11140673	2,70033	INIA-Esp
Pa	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,25158791	1,96764	INIA-Esp
Pon	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,00696209	2,82049	INIA-Esp
Pot	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,00696209	2,82049	INIA-Esp
Ps	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,01088662	2,62841	INIA-Esp
Pu	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,01147806	2,7558	INIA-Esp
Qh	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,04796283	2,34356	INIA-Esp
Qir	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,54504533	1,7893	INIA-Esp
Qpe	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,09258425	2,15149	INIA-Esp
Rha	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,25158791	1,96764	INIA-Esp
Saa	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,25158791	1,96764	INIA-Esp
Sac	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,25158791	1,96764	INIA-Esp
Sau	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,25158791	1,96764	INIA-Esp
Tp	BST (kg) = $a \cdot Dn^b$	0,25158791	1,96764	INIA-Esp

Per aproximar la capacitat d'embornal de carboni anual es fa una estimació del creixement de biomassa a partir del creixement en volum de fusta amb escorça (IAVC) calculat amb les



equacions al·lomètriques disponibles al LFC. Les dades actuals de l'INF no permeten inferir creixements. Per calcular IAVC a cada arbre es requereix també estimar el VAE individual per a algunes espècies (Taula 8). També per càlculs posteriors s'empra el VAE individual, per la qual cosa es calcula per a tots els arbres (Taula 9).

En aquest cas de VAE i IAVC s'ha seleccionat l'al·lometria disponible de l'INF de la província més propera a Andorra, en general Lleida, i prioritant l'equació emprada al 2on INF respecte de la del 3r INF. Per a cada espècie se selecciona la mateixa font per a VAE i per a IAVC. Tanmateix, algunes espècies, les poc freqüents, poden no tenir equació disponible a l'INF de Catalunya, i en aquests casos s'aplica l'equació d'una espècie propera en sentit fisiològic (per exemple, a *Betula pubescens* se li aplica l'equació de *Betula pendula*).

Taula 8. Equacions al·lomètriques emprades per a calcular IAVC de tots els arbres a partir del volum amb escorça o a partir del diàmetre normal.

Espècie	IAVC1=f(VAE); IAVC2=f(Dn)	a	b	c	d	Origen
Aa	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	8,12	0,0133424	-0,0000006		IFN2-Lleida
Ac	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	14,03	0,0845783	-0,0000455		IFN2-Lleida
Amon	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	14,03	0,0845783	-0,0000455		Ac
Bpe	$IAVC = a + b \cdot (Dn \cdot 10) + c \cdot (Dn \cdot 10)^2 + d \cdot (Dn \cdot 10)^3$	-1,91341073	0,0273012	0	0	IFN3-Lleida
Bpu	$IAVC = a + b \cdot (Dn \cdot 10) + c \cdot (Dn \cdot 10)^2 + d \cdot (Dn \cdot 10)^3$	-1,91341073	0,0273012	0	0	Bpe
Bus	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	15,03	0,1034843	-0,0000474		Crm
Coa	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	4,78	0,0283627	-0,0000014		IFN2-Lleida
Crm	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	15,03	0,1034843	-0,0000474		IFN2-Barcelona
Fe	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	3,54	0,0250003	-0,0000041		IFN2-Lleida
Ila	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	3,54	0,0250003	-0,0000041		IFN2-Girona
Jr	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	4,78	0,0283627	-0,0000014		IFN2-Lleida-Altres planifolis
Juc	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	0,68	0,0109947	-0,0000017		IFN2-Lleida
Pa	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	15,03	0,1034843	-0,0000474		IFN2-Lleida
Pon	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	1,91	0,0487213	-0,0000069		IFN2-Lleida
Pot	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	14,67	0,0343113	-0,0000064		IFN2-Lleida
Ps	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	3,9	0,0162104	-0,0000019		IFN2-Lleida
Pu	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	3,32	0,0105025	-0,0000019		IFN2-Lleida
Qh	$IAVC = a + b \cdot (Dn \cdot 10) + c \cdot (Dn \cdot 10)^2 + d \cdot (Dn \cdot 10)^3$	-2,09069	0,0293531	-0,000013	0	IFN3-Lleida
Qir	$IAVC = a + b \cdot (Dn \cdot 10) + c \cdot (Dn \cdot 10)^2 + d \cdot (Dn \cdot 10)^3$	-0,54400023	0,0093127	0	0	IFN3-Lleida
Qpe	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	1,23	0,0169616	-0,0000062		IFN2-Lleida
Rha	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	15,03	0,1034843	-0,0000474		Crm
Saa	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	4,78	0,0283627	-0,0000014		IFN2-Lleida
Sac	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	4,78	0,0283627	-0,0000014		IFN2-Lleida
Sau	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	4,78	0,0283627	-0,0000014		IFN2-Lleida
Tp	$IAVC = a + b \cdot VAE + c \cdot VAE^2$	3,54	0,0250003	-0,0000041		IFN2-Girona

Taula 9. Equacions al·lomètriques emprades per a calcular VAE de tots els arbres a partir del diàmetre normal i l'alçada total.

Espècie	VAE=f(Dn, Ht)	a	b	Origen
Aa	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	137,88	0,0003032	IFN3-Lleida
Ac	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	35,74	0,00021	IFN3-Lleida
Amon	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	35,74	0,00021	Ac
Bpe	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	12,68	0,0002535	IFN3-Lleida
Bpu	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	12,68	0,0002535	Bpe
Bus	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	13,14	0,0002358	Crm
Coa	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	-5,35	0,000365	IFN3-Lleida
Crm	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	13,14	0,0002358	IFN3-Barcelona
Fe	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	37,56	0,0002307	IFN3-Lleida
Ila	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	28,73	0,0003222	IFN3-Girona
Jr	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	109,53	0,0001481	IFN3-Lleida-Altres planifolis
Juc	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	20,57	0,0002687	IFN3-Lleida
Pa	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	13,14	0,0002358	IFN3-Lleida
Pon	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	27,37	0,0002311	IFN3-Lleida
Pot	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	27,33	0,0002783	IFN3-Lleida
Ps	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	30,83	0,000321	IFN3-Lleida
Pu	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	77,94	0,0002743	IFN3-Lleida
Qh	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	29,62	0,0002156	IFN3-Lleida
Qir	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	22,48	0,0001262	IFN3-Lleida
Qpe	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	12,18	0,0003025	IFN3-Lleida
Rha	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	13,14	0,0002358	Crm
Saa	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	109,53	0,0001481	IFN3-Lleida
Sac	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	109,53	0,0001481	IFN3-Lleida
Sau	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	98,05	0,0000884	IFN3-Lleida
Tp	$VAE (dm^3) = a + b \cdot ((Dn \cdot 10))^2 \cdot Ht$	58,56	0,000209	IFN3-Lleida

Una vegada es disposa del IAVC de cada arbre, l'estimació del ICAT es basa en una aproximació de la proporció de VAE segons el BAT individual. És a dir, s'estima l'increment total de biomassa (carboni) en base a l'increment total de fusta segons la relació observada entre biomassa total (kg) i volum de fusta (dm^3) a escala d'arbre, tot ajustant per separat les coníferes i les frondoses (Figura 2). El IAVC s'afegeix al VAE observat i el VAE resultant es transforma en BAT segons aquesta relació i aquest en ICAT amb la relació estandarditzada d'1 tona de carboni per cada 2 tones de biomassa. Després es computa el ICAT com la diferència entre el carboni estimat amb i sense l'increment afegit.

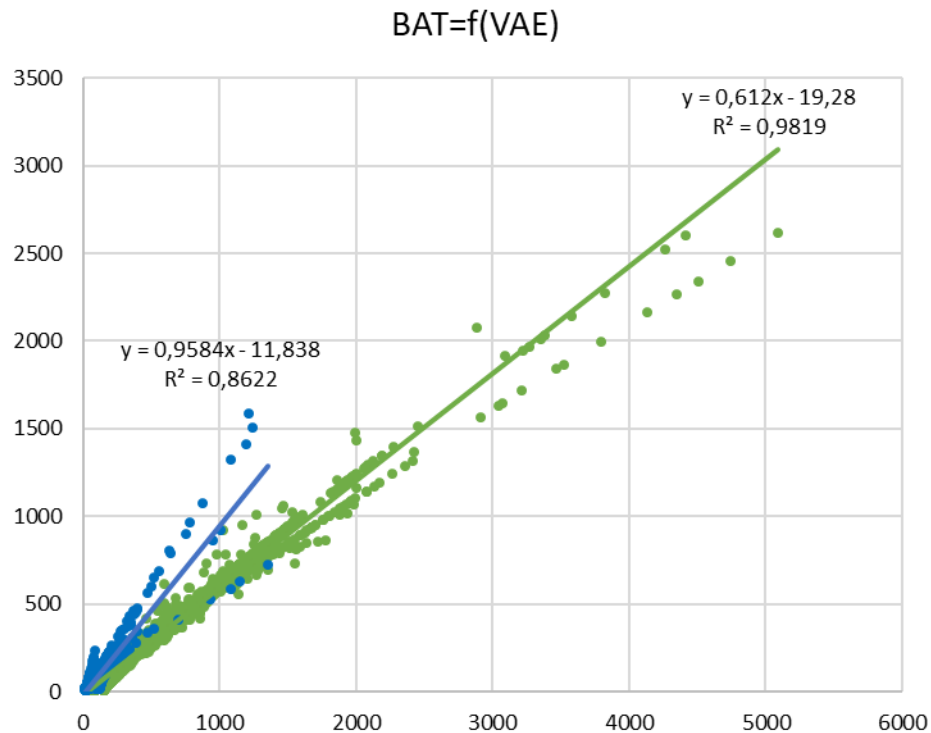


Figura 2. Relació observada entre BAT (kg) i VAE (dm³) a escala d'arbre per a coníferes (verd, 8.097 dades) i per a frondoses (blau, 945 dades).

L'estimació del ICST es realitza de manera semblant a partir del IAVC, tot basant-se en la relació entre BST (kg) i VAE (dm³) individual, igualment separant coníferes de frondoses (Figura 3). El IAVC s'afegeix al VAE observat i el VAE resultant es transforma en BST segons aquesta relació i aquest en ICST multiplicant per 0,5. Després es computa el ICST com la diferència entre el carboni estimat amb i sense l'increment afegit.

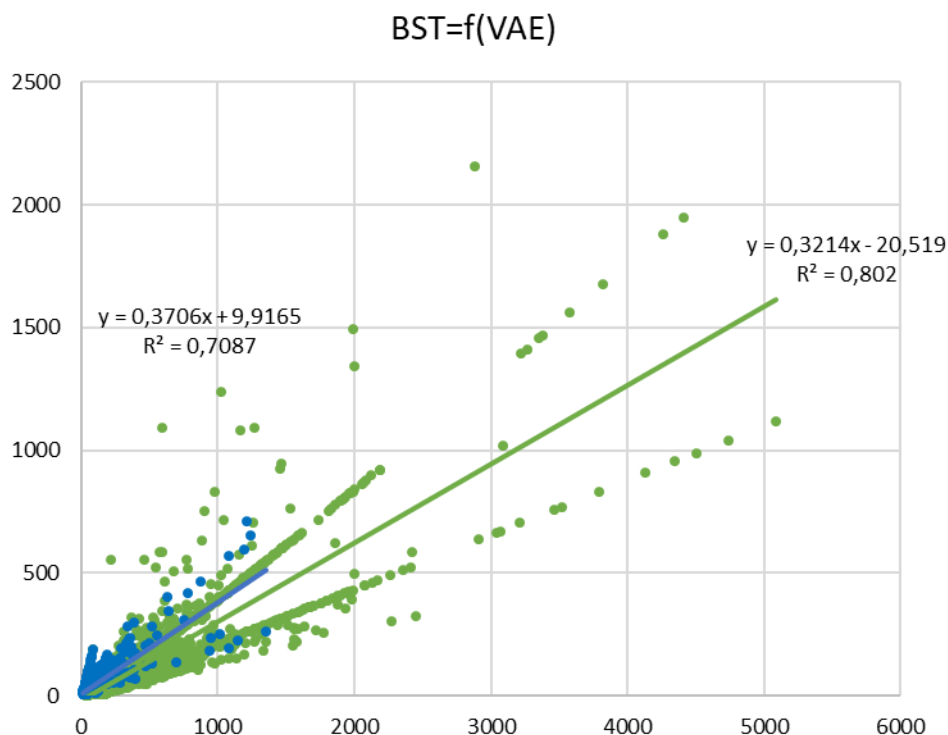


Figura 3. Relació observada entre el BST (kg) i el VAE (dm³) a escala d'arbre per a coníferes (verd, 8.097 dades) i per a frondoses (blau, 945 dades).

Finalment, els paràmetres objectiu CAT, CST, ICAT i ICST es computen a nivell de parcel·la en tones per hectàrea i es totalitzen per a la superfície forestal arbrada i els seus estrats d'inventari.

2.4.2. Carboni de l'estrat arbustiu

La fracció arbustiva presenta dificultats per a l'estimació del carboni emmagatzemat, especialment a la part subterrània, i també de la taxa de fixació, per la diversitat d'espècies i estructures, per les dades disponibles de l'INF i per la menor disponibilitat d'estudis sobre aquesta matèria. El carboni emmagatzemat en l'estrat arbustiu (CARb) a les parcel·les INF es calcula mitjançant l'estimació de Biomassa Aèria (BARb) a partir d'equacions al·lomètriques que depenen del recobriment, de l'alçada i de l'espècie. Un cop s'obté la biomassa s'acaba multiplicant pel factor de conversió de 0,5 per obtenir el carboni emmagatzemat. L'estoc de carboni a la part subterrània, així com la taxa anual de fixació, no es poden calcular o estimar amb un grau assumible de fiabilitat a partir de les dades disponibles de recobriment i alçada mitjana estimada per espècies de matoll a cada parcel·la de l'INF.

El paràmetre CARb es calcula a escala de parcel·la a partir de l'estimació de biomassa aèria realitzada amb l'ús del paquet MedFuels⁵ segons detallen De Cáceres *et al.* (2019). Amb aquest paquet, a cada parcel·la i per a cada espècie de matoll de la qual es disposa de l'estimació del recobriment (%) i l'alçada mitjana (cm) es calcula el fitovolum (PHV) de l'individu equivalent, variable amb la qual s'estima la biomassa amb equacions al·lomètriques. Hi ha equacions disponibles per a diverses espècies i per a grups funcionals i les aplicades a Andorra es mostren a la Taula 10. Amb la biomassa de l'individu equivalent, el paquet aplica unes equacions d'extrapolació en base a la densitat estimada, que es deriva de les pròpies dades de recobriment

⁵ MedFuels public repository: <https://github.com/spif-ctfc/medfuels>

i alçada mitjana, i finalment s'obté un valor de biomassa total en t/ha que es converteix en Carboni multiplicant per 0,5.

Taula 10. Equacions al·lomètriques per calcular BAT de l'estrat arbustiu a partir del fitovolum. Totes les espècies de matoll inventariades a l'INF es troben representades en aquesta taula, sigui a nivell d'espècie individualment o bé de manera agrupada segons forma vital, seguint les indicacions d'ús del paquet MedFuels.

Tàxon i/o forma vitalde Raunkjaer	BAT=f(PHV)	a	b	Origen
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	$BAT (kg) = a \cdot PHV^b$	0,5199628	0,24488792	MedFuels
<i>Buxus sempervirens</i>	$BAT (kg) = a \cdot PHV^b$	1,05809	0,68489514	MedFuels
<i>Genista scorpius/purgans</i>	$BAT (kg) = a \cdot PHV^b$	1,92196406	0,88066187	MedFuels
<i>Rosa canina</i>	$BAT (kg) = a \cdot PHV^b$	0,9742492	0,93964174	MedFuels
<i>Viburnum lantana</i>	$BAT (kg) = a \cdot PHV^b$	0,28715921	0,70454246	MedFuels
Chamaephita: <i>Calluna vulgaris, Ruscus aculeatus, Vaccinium myrtillus</i>	$BAT (kg) = a \cdot PHV^b$	1,9189234	0,6872854	MedFuels
Macrophanerophyta: <i>Crataegus monogyna, Ilex aquifolium, Juniperus phoenicea, Rhamnus alpina, Sambucus racemosa</i>	$BAT (kg) = a \cdot PHV^b$	0,7856075	0,810131	MedFuels
Nanophanerophyta: <i>Achillea filipendulina, Daphne mezereum, Genista purgans, Juniperus communis, Lonicera nigra, Lonicera xylosteum, Rhododendron ferrugineum, Ribes petraeum, Rubus idaeus, Rubus ulmifolius, Sorbus chamaemespilus</i>	$BAT (kg) = a \cdot PHV^b$	1,2694316	0,7610339	MedFuels
Nanophanerophyta rebrotadora: <i>Amelanchier ovalis, Clematis vidalba, Cornus sanguinea, Prunus spinosa</i>	$BAT (kg) = a \cdot PHV^b$	1,2405486	0,7436008	MedFuels

2.4.3. Carboni de la fusta morta en peu i a terra

De la fracció de la fusta morta dels boscos s'ha estimat el carboni emmagatzemat als arbres morts en peu (de $D_n > 7,5$ cm i $H_t > 1,3$ m) i a terra ($D_m > 17,5$ cm), a partir de les dades mesurades a les parcel·les de l'INF.

En les parcel·les d'inventari es mesura el diàmetre de tots els arbres morts en peu i s'identifica l'aspecte (3-5) segons el grau de descomposició. Els arbres amb aspectes 3 i 4 mantenen la capçada, de manera que l'alçada, si no ha estat mesurada, s'ha estimat a partir de les al·lometries de la Taula 5 com si fossin arbres vius. L'aspecte 5 correspon a estakes amb la capçada trencada, de manera que el protocol d'inventari marca la mesura de l'alçada en cada cas. No obstant això, en cas de no disposar de la dada d'alçada per a arbres d'aspecte 5 s'ha aplicat la mateixa al·lometria per estimar-la a partir del diàmetre normal. En el cas de la fusta morta al sòl, s'ha mesurat el diàmetre, la longitud i també s'identifica l'estat de descomposició. Amb totes les dades de D_n i H_t per a la fusta morta en peu i de D_m i L_t per a la fusta morta a terra s'estima el volum individual. Per a la fusta morta a terra es considera cada peça com un cilindre. En el cas de la fusta morta en peu, per als arbres d'aspecte 3 i 4 i per a aquells d'aspecte 5 sense alçada mesurada s'apliquen les al·lometries de la Taula 9 per estimar el volum individual segons espècies. Per als arbres d'aspecte 5 amb alçada mesurada igual o inferior a 3 m s'estima el volum com un cilindre, mentre que si tenen alçades mesurades superiors a 3 m també s'estimen com a cilindres però aplicant un factor reductor de 0,8 atès que el diàmetre mesurat

a 1,3 m no capta la conicitat de la peça. A partir del volum (m^3/ha) s'estima la biomassa (t/ha) i el carboni (t/ha).

Degut als processos de descomposició, la densitat de la fusta morta és menor a la fusta viva, i molt més variable segons les característiques i condicions individuals. En aquest estudi s'ha emprat el coeficient de $0,38 \text{ t}/\text{m}^3$ (i 49,46% de carboni en biomassa) per a tots els casos, atès que no es disposa de suficient informació respecte la densitat de les diferents espècies i estats de descomposició dels arbres morts inventariats amb l'INF. Aquest valor es correspon a l'establert per Stakėnas *et al.* (2020) per al pi roig quan la fusta morta és encara dura però la capa exterior comença a estovar, conserva la majoria de l'escorça i hi ha presència encara de branques petites. Aquest tipus és el més semblant al cas general dels arbres morts inventariats a l'INF, sempre que s'assimili el pi negre al pi roig. Aquests càlculs de carboni de la fusta morta es totalitzen per a la superfície forestal arbrada i els seus estrats d'inventari.

2.4.4. Carboni de la matèria orgànica del sòl

Per als boscos d'Andorra s'ha estimat el carboni present en a la matèria orgànica (horitzons orgànics) del sòl a partir de la informació proporcionada per López-Senespleda *et al.* (2021) per a les diferents formacions forestals arbres d'Espanya. Atès que no es disposa de dades mesurades a Andorra, s'ha fet una aproximació a partir de la informació disponible per a les tres comarques catalanes veïnes (Pallars Sobirà, Alt Urgell i Cerdanya), amb similituds fisicoclimàtiques i biogeogràfiques.

En primer lloc, a partir del visor del contingut de C acumulat a l'horitzó orgànic de l'ICIFOR-INIA, CSIC⁶, que mapifica els resultats de López-Senespleda *et al.* (2021), s'ha calculat un valor mitjà d'estoc de C a cada polígon del Mapa Forestal d'Espanya 1:25.000 de les tres comarques seleccionades. A aquests polígons se'ls ha incorporat la dada d'altitud.

S'han conservat únicament els polígons amb formacions forestals que estan presents Andorra i que tenen una altitud superior als 800 m, ja que tota la superfície forestal arbrada d'Andorra es troba per sobre d'aquesta altitud i aquesta variable és un factor que influeix en la quantitat de carboni en la matèria orgànica del sòl. A continuació s'ha calculat el valor mitjà de Biomassa Aèria Total de cada polígon del Mapa Forestal d'Espanya 1:25.000 (DGDRPF, 2016; MFE25) seleccionat a partir del Mapa de Variables Biofísiques de l'arbrat de Catalunya (ICGC, 2018).

Per estimar un valor de carboni a la superfície forestal d'Andorra, a partir de la informació generada s'ha elaborat un model lineal generalitzat (GLM), amb l'altitud i la Biomassa Aèria Total (BAT) com a variables independents, per a les diferents formacions forestals analitzades. La Taula 11 mostra les característiques de les dades de partida de BAT, Altitud i Carboni orgànic dels 6.329 polígons corresponents al MFE25 de les 3 comarques seleccionades i que corresponen amb les diferents formacions forestals presents també a Andorra. La Taula 12 mostra el número de polígons de mostra que representen a cada hàbitat present a l'INF-AND. Cal destacar que alguns hàbitats s'han agrupat degut a la similitud entre ells per l'elaboració de les variables del model emprat. La Figura 4 mostra un gràfic de les correlacions entre les variables CO, BAT i Altitud, mentre que a la Figura 5 es mostren els gràfics de distribució i els rangs i mitjanes dels valors de cada variable per a cada grup de formacions forestals identificats per l'elaboració del GLM.

⁶ Visor del contingut de C acumulat en l'horitzó orgànic i al sòl a la Península Ibérica y Balears: <https://www.inia.es/serviciosyrecursos/recursosdocumentales/visordecarbono/Paginas/Home.aspx>



Taula 11. Estadístics descriptius de les dades de partida procedents dels polígons del MFE25 corresponents les diferents formacions forestals conjuntament amb el ràster del C acumulat en l'horitzó orgànic (CO) i del ràster de Biomassa Aèria Total (BAT) de la mateixa àrea d'estudi.

Variable	Mitjana	Desviació estàndard	Percentil 0	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 100	Histograma
CO	11.8	3.63	4.23	9.00	10.9	14.5	29.3	
BAT	66.3	35.3	10.1	40.0	58.4	84.9	340	
Altitud	1481	389	800	1173	1423	1780	2476	

Taula 12. Resum dels diferents hàbitats presents a l'INF d'Andorra, amb l'agrupació escaient, i la mostra de polígons del MFE25 emprats per l'elaboració del model lineal per a cada formació.

Grup	Hàbitat IFN-AND	Codi	N_net
a	Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	1.618
	Pinedes de pi negre xeròfiles, i repoblacions	PNX	
b	Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	1.673
	Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	
c	Avetoses i pinedes amb avets	AVE	69
d	Carrascars	CAR	601
e	Rouredes de roure martinenc	RMR	433
f	Avellanoses	COR	67
g	Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	66
h	Bosc i bosquines de ribera	BBR	415
i	Bosc mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	775
	Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	
j	Bosc mixts de caducifolis i coníferes	BMC	645
	Bosc mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	
Total			6.362

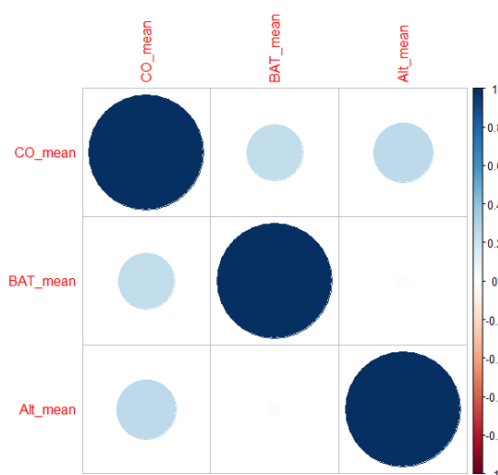
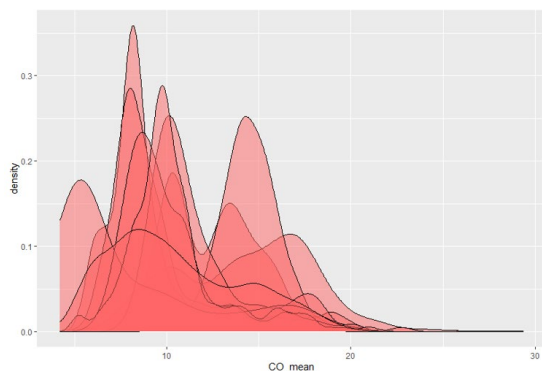
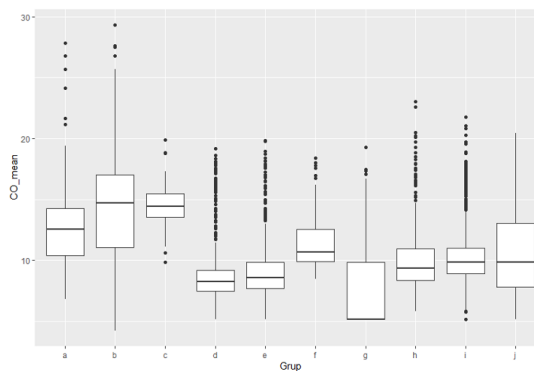


Figura 4. Gràfic de correlacions entre les variables CO, BAT i Altitud.

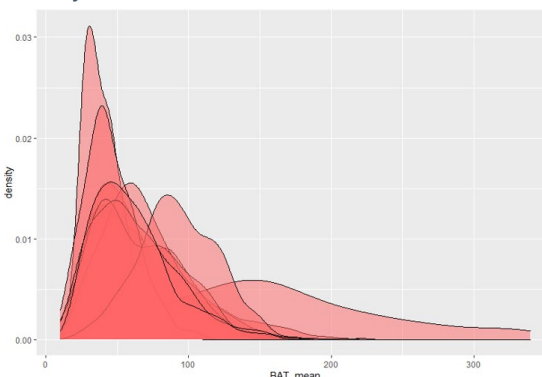
A – Gràfic de distribució del C.O.



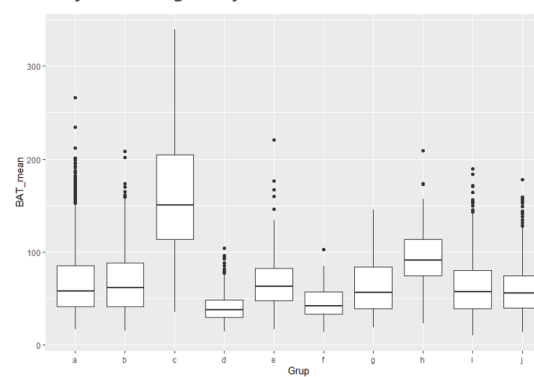
B – Gràfic del rang i mitjanes del C.O.



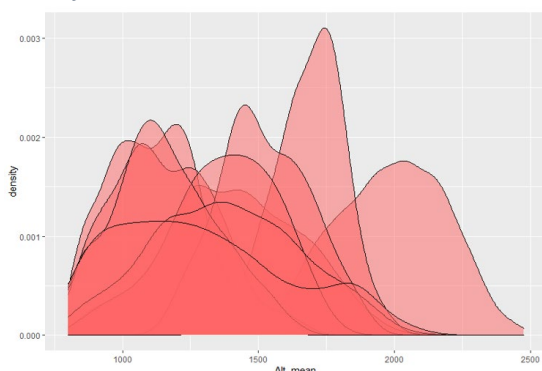
C – Gràfic de distribució de la BAT



D – Gràfic del rang i mitjanes de la BAT



E – Gràfic de distribució de l'Altitud



F – Gràfic del rang i mitjanes de l'Altitud

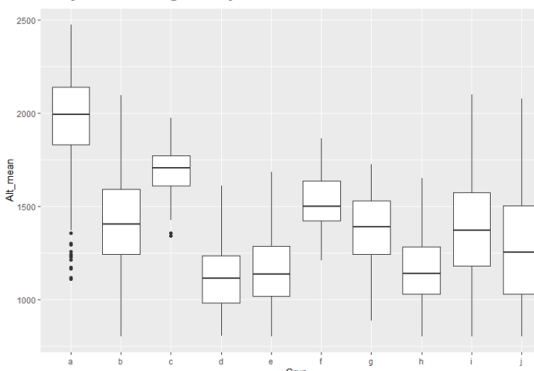


Figura 5. Gràfics de distribució i rangs i mitjanes dels valors dels grups de formacions forestals per cada variable.

El model lineal generalitzat té la forma $C = I + a * BAT + b * Altitud$. Els coeficients per cada grup de formacions forestals es presenten a la Taula 13.

Taula 13. Coeficients del GLM de cada grup de formacions forestals per a l'estimació del carboni orgànic del sòl als boscos d'Andorra.

Grup	N	Mediana de la desviació dels residus	Intercepció (I)		Coeficient BAT (a)		Coeficient Altitud (b)		AIC
A	1.618	-0,4227	11,4834793	***	0,0193491	***	-0,0001396		7.351,8
B	1.673	0,0149	10,95	***	0,03522	***	0,0006972	.	9.013,5
C	69	0,0275	25,553486	***	0,001289		-0,006647	***	263,55
D	601	-0,6133	2,9305866	***	0,0285286	***	0,0042512	***	2.795,3
E	433	-0,6567	2,3193494	**	0,0104726	*	0,0055141	***	2.038,4

Grup	N	Mediana de la desviació dels residus	Intercepció (I)		Coeficient BAT (a)		Coeficient Altitud (b)		AIC
F	67	-0,8584	12,8942092	***	-0,0006604		-0,0008047		325,59
G	66	-1,858	3,833930		0,035681	.	0,001423		379,06
H	415	-0,8465	3,955642	***	-0,006452		0,005935	***	2.003,4
I	775	-0,6571	4,9489861	***	0,0141346	***	0,0033284	***	3.655,3
J	645	-0,9578	4,1438331	***	0,0294352	***	0,0035661	***	3.345,5

Significança estadística: 0'***' 0,0001'***' 0,01'***' 0,05'.'0,1' ' 1

Aquest model ha estat aplicat a la superfície forestal arbrada d'Andorra per estimar l'estoc de carboni en l'horitzó orgànic a escala de de cada píxel de 20x20 m. Cada píxel conté informació de la formació forestal segons la classificació de l'hàbitat de la definició dels estrats d'inventari tal com es detalla a l'informe dels mètodes de l'INF; de l'altitud a partir del MDE del IDE d'Andorra; i de la BAT estimada a la mateixa escala segons es detalla a l'informe d'elaboració dels Mapes de Variables Biofísiques d'Andorra. A partir del ràster resultant de l'estoc de carboni es calculen la mitjana i el total per cada estrat d'inventari de la superfície forestal arbrada d'Andorra.

3. Resultats

3.1. Estoc i embornal de carboni en l'estrat arbori

La Taula 14 mostra els resultats obtinguts respecte als valors per hectàrea de l'estoc (carboni aeri total, CAT; carboni subterrani total, CST) i per hectàrea i any de l'embornal de carboni (increment de carboni aeri total, ICAT; increment de carboni subterrani total, ICST), per al total de la superfície forestal arbrada d'Andorra i per estrats d'inventari (sempre que hi hagi parcel·les de l'INF amb dades disponibles). La Taula 15 quantifica les dades totals d'estoc i embornal tenint en compte la superfície forestal arbrada total i per als estrats amb dades disponibles. La Figura 6 mostra els histogrames de les variables CAT, CST, ICAT i ICST a les 194 parcel·les de l'INF-AND.

Taula 14. Resultats de l'estoc i l'embornal de carboni obtingut per al total dels boscos d'Andorra i per als estrats amb dades disponibles.

Estrat	Carboni Aeri total (t/ha)			Carboni Subterrani total (t/ha)			Increment de Carboni Aeri total (t/ha·any)			Increment de Carboni Subterrani total (t/ha·any)		
	Mínima	Mitjana	Màxima	Mínima	Mitjana	Màxima	Mínima	Mitjana	Màxima	Mínima	Mitjana	Màxima
Total	10,5	69,9	149,2	4,1	33,0	107,5	0,2	2,0	6,7	0,1	1,1	3,5
PNM	21,2	68,3	118,2	9,3	36,9	72,2	0,6	1,9	4,6	0,3	1,0	2,4
PRX	10,5	66,6	118,0	4,1	25,1	42,1	0,2	1,9	3,6	0,1	1,0	1,9
BPD	12,2	68,3	121,5	5,3	31,7	64,2	0,7	2,2	4,8	0,4	1,1	2,5
PRM	34,8	86,8	135,3	16,7	30,2	44,1	1,1	2,5	3,8	0,6	1,3	2,0
PNX	30,2	70,2	149,2	16,6	42,5	107,5	0,8	1,7	3,2	0,4	0,9	1,7
AVE	65,7	99,8	130,2	30,2	42,5	55,7	1,1	3,5	6,7	0,6	1,8	3,5
BMF	33,7	64,1	91,2	26,4	32,7	41,5	1,0	2,3	5,8	0,5	1,3	3,1
CAR	16,9	36,9	69,7	7,8	23,9	37,1	0,3	0,8	1,5	0,1	0,4	0,8
RMR	22,1	49,2	84,7	11,8	29,3	39,1	0,4	0,8	1,5	0,2	0,4	0,8
COR	23,5	28,8	34,0	9,5	15,4	21,2	1,1	1,5	1,9	0,6	0,8	1,0
BMC	25,8	25,8	25,8	9,8	9,8	9,8	0,7	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4
BMQ	25,5	37,9	50,3	20,0	28,1	36,1	1,0	1,1	1,2	0,5	0,6	0,6
VCB	47,7	47,7	47,7	28,8	28,8	28,8	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0
RFG	76,9	76,9	76,9	28,9	28,9	28,9	1,2	1,2	1,2	0,6	0,6	0,6
BBR*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*En aquest estrat no hi ha cap parcel·la d'inventari.

Taula 15. Resultats de la quantitat total d'estoc i embornal de carboni per a tota la superfície forestal arbrada i per estrats amb dades disponibles.

Estrat	Superfície (ha)	Carboni Aeri Total (t)	Carboni Subterrani Total (t)	Increment de Carboni Aeri Total (t/any)	Increment de Carboni Subterrani Total (t/any)
Total	18.226,98	1.274.620	601.913	36.764	13.326
PNM	4.212,55	287.874	155.384	8.004	4.203
PRX	3.302,33	225.540	104.816	7.171	3.755
BPD	3.266,10	217.493	81.941	6.350	3.353
PRM	2.663,03	231.112	80.394	6.638	3.482
PNX	2.328,88	163.386	99.063	3.998	2.119
AVE	641,91	64.073	27.292	2.225	1.166
BMF	614,43	39.385	20.092	1.434	768
CAR	324,47	11.984	7.755	249	119
RMR	249,60	12.280	7.321	208	108
COR	160,67	4.619	2.466	241	129
BMC	153,11	3.950	1.500	107	61
BMQ	124,59	4.722	3.495	137	69
VCB	85,51	4.079	2.463	171	86
RFG	71,85	5.525	2.076	86	43
BBR*	27,97	1.956	924	56	30

*Aquest estrat està calculat en base a la mitjana global, donat que no hi ha parcel·les representatives.

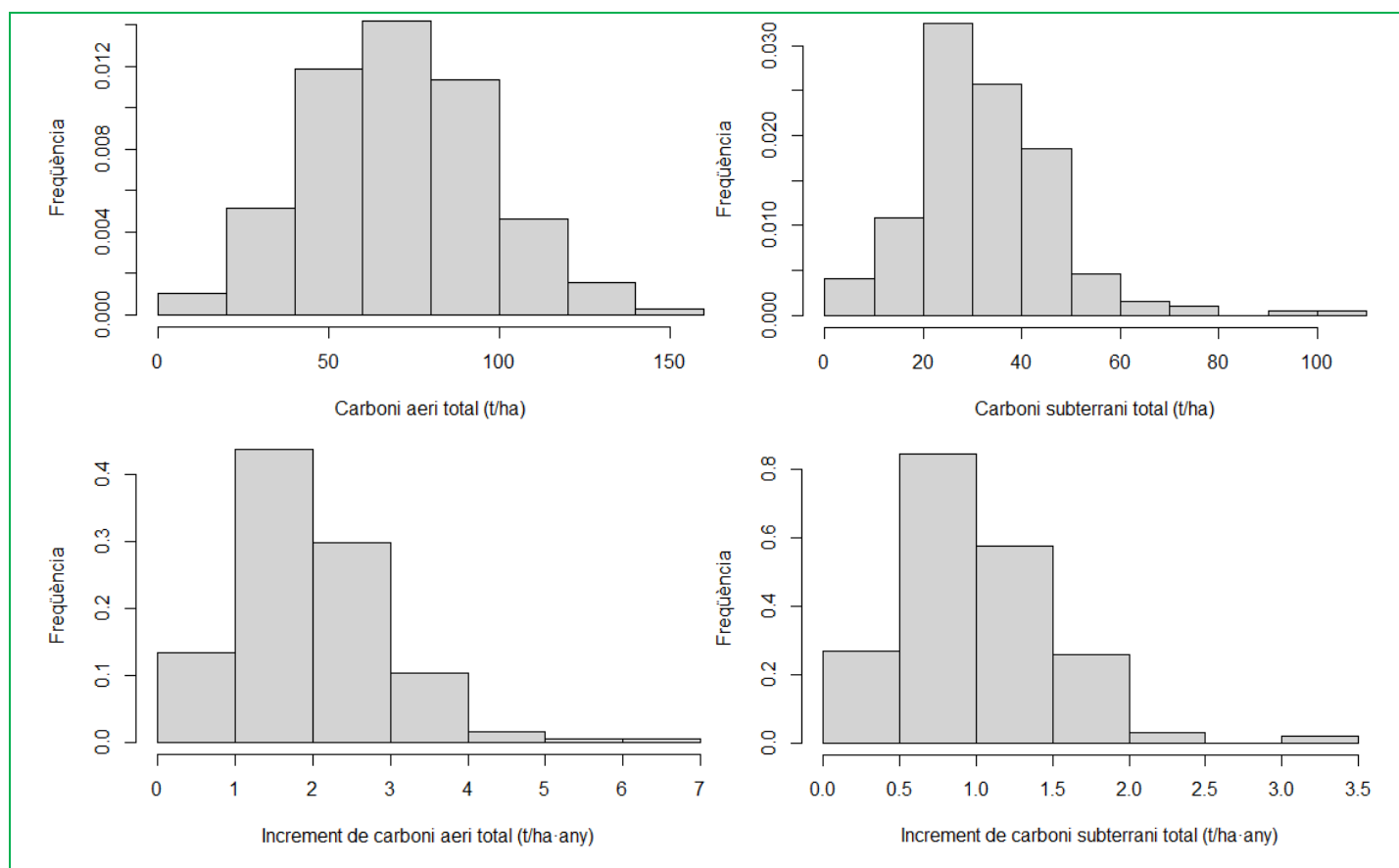


Figura 6. Histogrames dels resultats obtinguts a les 194 parcel·les respecte a CAT, CST, ICAT, i ICST.

3.2. Estoc de carboni en l'estrat arbustiu

La Taula 16 mostra els resultats obtinguts respecte als valors per hectàrea de l'estoc de carboni aeri total de l'estrat arbustiu (CARb), per al total de la superfície forestal arbrada d'Andorra i per estrats d'inventari (sempre que hi hagi parcel·les de l'INF amb dades disponibles). La Taula 17 quantifica les dades totals d'estoc de carboni aeri total de l'estrat arbustiu, tenint en compte la superfície forestal arbrada total i per als estrats amb dades disponibles. La Figura 7 mostra l'histograma per a les 194 parcel·les de l'INF-AND.

Taula 16. Resultats de la quantitat de l'estoc de carboni aeri total de l'estrat arbustiu, per al total dels boscos d'Andorra i per als estrats amb dades disponibles.

Estrat	Codi	Carboni aeri de l'estrat arbustiu (t/ha)		
		Mínima	Mitjana	Màxima
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	0,00	5,70	14,25
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	0,63	4,39	10,9
Boscos de protecció i defensa	BPD	0,74	3,51	8,36
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	0,00	3,19	7,42
Pinedes de pi negre xeròfiles i repoblacions	PNX	0,00	4,15	9,29
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	0,88	4,88	9,91
Boscos mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	0,00	3,26	7,24
Carrascars	CAR	1,04	5,10	12,2
Rouredes de roure martinenc	RMR	4,97	6,94	8,97
Avellanoses	COR	0,74	2,29	3,83
Boscos mixtos de caducifolis i coníferes	BMC	11,52	11,52	11,52
Boscos mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	0,90	2,18	3,45
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	3,08	3,08	3,08
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	7,78	7,78	7,78
Boscos i bosquines de ribera	BBR*	-	-	-
TOTAL		0,00	4,34	14,25

*En aquest estrat no hi ha cap parcel·la d'inventari.

Taula 17. Resultats de la quantitat total d'estoc del Carboni Aeri Total de l'estrat arbustiu, per a tota la superfície forestal arbrada i per estrats amb dades disponibles.

Estrat	Codi	Superfície (ha)	Carboni aeri total estrat arbustiu (t)
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	4.212,55	24.011
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	3.302,33	14.497
Bosc de protecció i defensa	BPD	3.266,10	11.464
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	2.663,03	7.429
Pinedes de pi negre xeròfiles i repoblacions	PNX	2.328,88	11.052
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	641,91	2.998
Bosc mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	614,43	2.093
Carrascars	CAR	324,47	1.655
Rouredes de roure martinenc	RMR	249,60	1.732
Avellanoses	COR	160,67	368
Bosc mixts de caducifolis i coníferes	BMC	153,11	1.764
Bosc mixts de carrasca i roures i pi roig	BMQ	124,59	272
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	85,51	263
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	71,85	559
Bosc i bosquines de ribera	BBR*	27,97	121
TOTAL		18.226,98	80.278

*Aquest estrat està calculat en base a la mitjana global, donat que no hi ha parcel·les representatives.

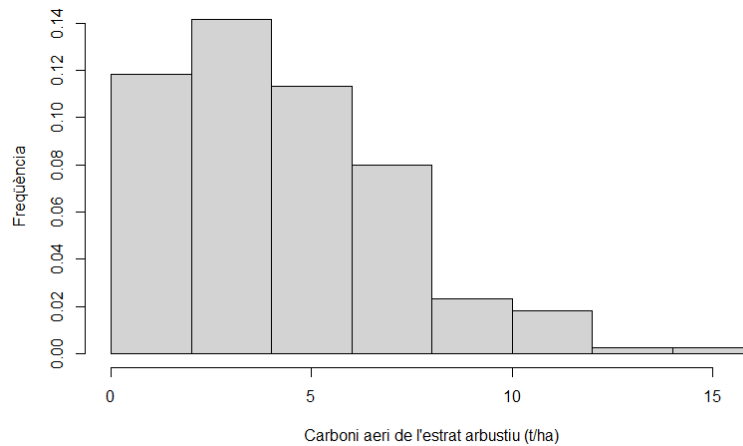


Figura 7. Histograma dels resultats obtinguts a les 194 parcel·les respecte a Carb.

3.3. Estimació de l'estoc de carboni d'altres elements forestals

3.3.1. Carboni de la fusta morta en peu i a terra

La Taula 18 mostra els resultats obtinguts respecte als valors per hectàrea de l'estoc de carboni de la fusta morta (CFM), tant en peu com a terra, per al total de la superfície forestal arbrada d'Andorra i per estrats d'inventari (sempre que hi hagi parcel·les de l'INF amb dades disponibles). La Taula 19 quantifica les dades totals d'estoc del carboni de la fusta morta en peu i a terra tenint en compte la superfície forestal arbrada total i per als estrats amb dades disponibles. La Figura 8 mostra els histogrames per a les 194 parcel·les de l'INF-AND.

Taula 18. Resultats l'estoc de carboni de la fusta morta (en peu i a terra), obtingut per al total dels boscos d'Andorra i per als estrats amb dades disponibles.

Carboni de la fusta morta (t/ha)							
Estrat	Codi	Fusta morta en peu			Fusta morta a terra		
		Mínima	Mitjana	Màxima	Mínima	Mitjana	Màxima
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	0,00	2,70	13,92	0,00	4,63	34,33
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	0,00	1,44	6,34	0,00	3,32	17,64
Boscos de protecció i defensa	BPD	0,00	2,61	18,87	0,00	4,89	36,84
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	0,00	2,00	10,42	0,00	5,24	18,50
Pinedes de pi negre xeròfiles i repoblacions	PNX	0,00	3,30	12,35	0,00	6,52	53,41
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	1,36	8,31	19,08	0,00	8,22	31,52
Boscos mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	0,00	2,02	6,71	0,00	0,95	4,94
Carrascars	CAR	0,00	0,23	0,43	0,00	0,46	1,37
Rouredes de roure martinenc	RMR	0,04	0,28	0,72	0,00	16,67	50,01
Avellanoses	COR	0,52	0,95	1,38	0,00	2,45	4,90
Boscos mixtos de caducifolis i coníferes	BMC	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
Boscos mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	0,00	0,37	0,73	0,00	0,00	0,00
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	0,09	0,09	0,09	0,00	0,00	0,00
Boscos i bosquines de ribera	BBR*	-	-	-	-	-	-
TOTAL		0,00	2,45	19,08	0,00	4,78	53,41

*En aquest estrat no hi ha cap parcel·la d'inventari.

Taula 19. Resultats l'estoc de carboni de la fusta morta (en peu i a terra), obtingut per a tota la superfície forestal arbrada i per estrats amb dades disponibles.

Estrat	Codi	Superfície (ha)	Carboni de la fusta morta (t)		
			En peu	A terra	Total
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	4.212,55	11.373	19.523	30.897
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	3.302,33	4.230	10.457	14.687
Bosc de protecció i defensa	BPD	3.266,10	8.606	16.153	24.759
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	2.663,03	5.316	13.953	19.269
Pinedes de pi negre xeròfiles i repoblacions	PNX	2.328,88	7.681	15.186	22.866
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	641,91	5.332	5.278	10.610
Bosc mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	614,43	1.244	583	1.827
Carrascars	CAR	324,47	75	149	224
Rouredes de roure martinenc	RMR	249,60	69	4.161	4.229
Avellanoses	COR	160,67	153	393	546
Bosc mixtos de caducifolis i coníferes	BMC	153,11	3	0	3
Bosc mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	124,59	46	0	46
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	85,51	0	0	0
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	71,85	6	0	6
Bosc i bosquines de ribera	BBR*	27,97	68	134	202
TOTAL		18.226,98	44.198	87.164	131.361

*Aquest estrat està calculat en base a la mitjana global, donat que no hi ha parcel·les representatives.

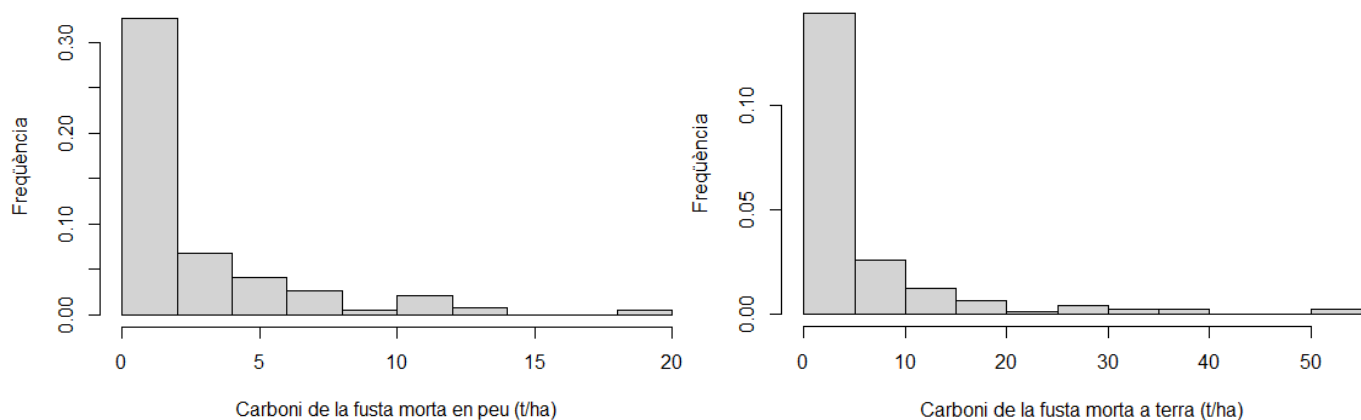


Figura 8. Histogrames dels resultats obtinguts a les 194 parcel·les respecte a CFM en peu i a terra.

3.3.2. Carboni de la matèria orgànica del sòl

La Taula 20 mostra els resultats obtinguts respecte als valors per hectàrea de l'estoc de carboni en la matèria orgànica del sòl (CMO), per al total de la superfície forestal arbrada d'Andorra i per estrats d'inventari. La Taula 21 quantifica les dades totals d'estoc del carboni de la matèria orgànica, tenint en compte la superfície forestal arbrada total i per als estrats amb dades disponibles. La Figura 9 mostra l'histograma resultant de l'estimació del carboni als píxels de 20x20 m que representen la superfície forestal d'Andorra.

Taula 20. Resultats de l'estoc de carboni en la matèria orgànica del sòl obtingut per cada estrat.

Estrat	Codi	Carboni de la matèria orgànica del sòl (t/ha)		
		Mínima	Mitjana	Màxima
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	11,62	13,50	15,87
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	12,59	16,95	21,08
Bosc de protecció i defensa	BPD	7,84	13,95	20,58
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	12,48	17,54	21,63
Pinedes de pi negre xeròfiles, i repoblacions	PNX	11,62	13,30	16,10
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	10,38	14,01	16,47
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	BMF	8,84	12,24	14,84
Carrascars	CAR	7,44	10,37	15,51
Rouredes de roure martinenc	RMR	7,69	9,92	12,74
Avellanoses	COR	11,22	11,58	11,97
Bosc mixt de caducifolis i coníferes	BMC	8,19	11,61	16,83
Bosc mixt de carrasca i roures i pi roig	BMQ	8,35	10,74	16,38
Bosc mixt, freixenedes, bedollars i tremoledes	VCB	9,77	11,74	14,57
Rouredes de fulla grossa	RFG	6,45	10,23	14,20
Bosc i bosquines de ribera	BBR	9,54	11,08	13,62
TOTAL		6,45	14,57	21,63

Taula 21. Resultats de l'estoc de carboni en la matèria orgànica del sòl per al total dels boscos d'Andorra.

Estrat	Codi	Superfície (ha)	Carboni de la matèria orgànica del sòl (t)
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	4.212,55	56.884
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	3.302,33	55.373
Bosc de protecció i defensa	BPD	3.266,10	46.063
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	2.663,03	46.706
Pinedes de pi negre xeròfiles, i repoblacions	PNX	2.328,88	30.968
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	641,91	8.992
Bosc mixt, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	614,43	7.522
Carrascars	CAR	324,47	3.366
Rouredes de roure martinenc	RMR	249,60	2.475
Avellanoses	COR	160,67	1.860
Bosc mixt de caducifolis i coníferes	BMC	153,11	1.777
Bosc mixt de carrasca i roures i pi roig	BMQ	124,59	1.338
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	85,51	1.004
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	71,85	735
Bosc i bosquines de ribera	BBR	27,97	310
TOTAL		18.226,97	265.489

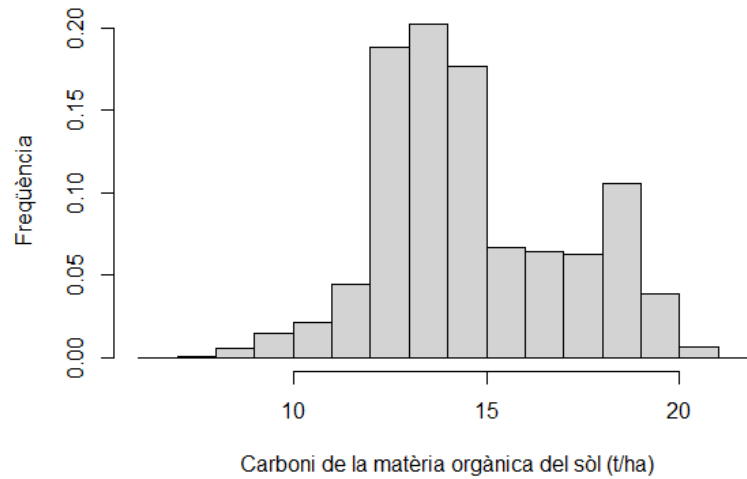


Figura 9. Histograma del resultat dels 455.703 píxels de 20x20 m en què es divideix la superfície forestal arbrada d'Andorra.

3.4. Resultat total d'estoc de carboni als boscos d'Andorra

La Taula 22 recopila els resultats de les diferents faccions calculades per cada estrat d'inventari dels boscos d'Andorra respecte la mitjana d'estoc de carboni (t/ha), mentre que la Taula 23 mostra el resultat del valor total de l'estoc de carboni (t). Aquestes dades representen la situació a data de 2022, segons la data de mesura de les parcel·les de l'INF en què es basa aquesta estimació.

Taula 22. Resultats mitjans de l'estoc de carboni per cada una de les fraccions calculades dels boscos d'Andorra.

Estrat	Codi	Carboni aeri total (arbori) (t/ha)	Carboni subterrani total (arbori) (t/ha)	Carboni aeri total (arbusti) (t/ha)	Carboni de la fusta morta en peu (t/ha)	Carboni de la fusta morta a terra (t/ha)	Carboni de la matèria orgànica del sòl (t/ha)
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	68,3	36,9	5,7	2,7	4,6	13,5
Pinedes de pi roig xeròfiles, i repoblacions	PRX	68,3	31,7	4,4	1,3	3,2	16,8
Boscos de protecció i defensa	BPD	66,6	25,1	3,5	2,6	4,9	14,1
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	86,8	30,2	2,8	2,0	5,2	17,5
Pinedes de pi negre xeròfiles i repoblacions	PNX	70,2	42,5	4,7	3,3	6,5	13,3
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	99,8	42,5	4,7	8,3	8,2	14,0
Boscos mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	64,1	32,7	3,4	2,0	0,9	12,2
Carrascars	CAR	36,9	23,9	5,1	0,2	0,5	10,4
Rouredes de roure martinenc	RMR	49,2	29,3	6,9	0,3	16,7	9,9
Avellanoses	COR	28,7	15,3	2,3	1,0	2,4	11,6
Boscos mixts de caducifolis i coníferes	BMC	25,8	9,8	11,5	0,0	0,0	11,6
Boscos mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	37,9	28,1	2,2	0,4	0,0	10,7
Vegetació de clarianes i bosquines	VCB	47,7	28,8	3,1	0,0	0,0	11,7
Rouredes de fulla grossa	RFG	76,9	28,9	7,8	0,1	0,0	10,2
Boscos i bosquines de ribera	BBR	-	-	-	-	-	11,1
TOTAL		69,9	33,0	4,3	2,4	4,8	14,6

Taula 23. Resultats totals de l'estoc de carboni per cada una de les faccions calculades dels boscos d'Andorra.

Estrat	Codi	Superfície (ha)	Carboni aeri total (arbori) (t)	Carboni subterrani total (arbori) (t)	Carboni aeri total (arbustiu) (t)	Carboni de la fusta morta en peu (t)	Carboni de la fusta morta a terra (t)	Carboni de la matèria orgànica del sòl (t)	Total Estoc de Carboni estimat (t)
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	4.212,55	287.874	155.384	24.011	11.373	19.523	56.884	535.342
Pinedes de pi roig xeròfiles, i repoblacions	PRX	3.302,33	225.540	104.816	14.497	4.230	10.457	55.373	414.913
Boscos de protecció i defensa	BPD	3.266,10	217.493	81.941	11.464	8.606	16.153	46.063	381.720
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	2.663,03	231.112	80.394	7.429	5.316	13.953	46.706	384.910
Pinedes de pi negre xeròfiles i repoblacions	PNX	2.328,88	163.386	99.063	11.052	7.681	15.186	30.968	327.336
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	641,91	64.073	27.292	2.998	5.332	5.278	8.992	113.965
Boscos mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	614,43	39.385	20.092	2.093	1.244	583	7.522	70.919
Carrascars	CAR	324,47	11.984	7.755	1.655	75	149	3.366	24.984
Rouredes de roure martinenc	RMR	249,60	12.280	7.321	1.732	69	4.161	2.475	28.038
Avellanoses	COR	160,67	4.619	2.466	368	153	393	1.860	9.859
Boscos mixts de caducifolis i coníferes	BMC	153,11	3.950	1.500	1.764	3	0	1.777	8.994
Boscos mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	124,59	4.722	3.495	272	46	0	1.338	9.873
Vegetació de clarianes i bosquines	VCB	85,51	4.079	2.463	263	0	0	1.004	7.809
Rouredes de fulla grossa	RFG	71,85	5.525	2.076	559	6	0	735	8.901
Boscos i bosquines de ribera	BBR*	27,97	1.956	924	121	68	134	310	3.513
TOTAL		18.226,98	1.274.620	601.913	80.278	44.198	87.164	265.373	2.353.546

4. Discussió

El càlcul o estimació del carboni emmagatzemat als boscos, així com la seva capacitat d'embornal anual, presenta diverses dificultats que poden ser més o menys resoltes amb la l'aplicació d'eines i metodologies específiques, però és una disciplina que ha d'assumir un alt grau d'incertesa. El carboni als boscos és present en diverses fraccions, usualment es treballa amb la part arbrada (tronc, escorça, branques i fulles com a biomassa aèria i arrels com a biomassa subterrània), part arbustiva (biomassa aèria i subterrània), fusta morta (en peu i a terra), horitzó orgànic del sòl i sòl mineral. Les característiques pròpies de cada fracció condicionen el seu estudi, principalment per la dificultat en l'inventari a bosc i la necessitat d'anàlisis de laboratori. La part arbrada (i especialment la biomassa aèria) ha estat la fracció més estudiada, per ser la més *visible* i per la *facilitat* del seu inventari, a banda de la bona aptitud per aplicar metodologies de teledetecció. Els arbusts han estat objecte d'estudi especialment en ecosistemes on hi són abundants, com el mediterrani, mentre que la fusta morta té cada vegada més protagonisme alhora que la seva quantitat als boscos augmenta pel propi desenvolupament dels sistemes. El carboni al sòl orgànic i mineral és la fracció més desconeguda, per la dificultat d'estudi i per la gran variabilitat a microescala condicionada per molts factors. Tanmateix, la capacitat d'emmagatzematge de carboni del sòl és destacat, fins i tot pot ser superior al de la part aèria de la vegetació. Per exemple, Rodríguez-Martín *et al.* (2016) xifra el carboni del sòl mineral dels sistemes forestals espanyols en un 52% del total emmagatzemat.

Amb tot, l'estudi de l'estoc i l'embornal de carboni de la superfície forestal té una importància cabdal per la gestió dels ecosistemes de manera integral amb un enfocament de mitigació i adaptació al canvi climàtic i la millora de la resistència i resiliència als seus impactes i sobre els serveis ecosistèmics derivats. Amb la realització de l'estimació de carboni que es descriu en aquest informe es disposa d'una primera aproximació a l'estat actual dels boscos d'Andorra basada en dades preses sobre el terreny, les del 1r Inventari Nacional Forestal de 2022. El carboni total emmagatzemat s'estima en una quantitat de 2.353.546 tones, encara sense comptar l'estoc del sòl mineral, amb una capacitat d'embornal estimada en 50.090 t/any (unes 183.830 tones/any de CO₂ atmosfèric equivalent) només a la fracció arbrada. Les següents mesures de les parcel·les de l'INF ara establertes aportaran informació més acurada sobre les taxes anuals de fixació de carboni atmosfèric.

Els mètodes emprats en aquest cas presenten alguns punts que poden aportar incertesa als resultats, encara que el disseny del l'INF hagi tingut en compte explícitament aquest ús de les dades. En general, aquests punts febles es poden diferenciar entre passos metodològics propis de les dades de base i d'altres derivats de l'aplicació d'eines provinents d'estudis o altres dades d'àmbits diferents a la zona d'estudi.

Les dades de l'INF han condicionat l'estudi de la fracció arbustiva, fins al punt d'impossibilitar l'estimació del carboni subterrani i de la taxa d'embornal. També aquestes dades han condicionat el mètode d'estimació de la taxa de fixació de carboni per part de la fracció arbrada. A més a més, la falta de dades pròpies respecte al sòl ha condicionat l'estimació del carboni de l'horitzó orgànic del sòl i ha impossibilitat l'estimació del carboni del sòl mineral. Tots aquests punts poden ser millorats si les dades de base s'amplien o complementen amb mostres propis o amb futures remesures de les parcel·les de l'INF.

Pel que fa a l'ús d'eines d'altres àmbits, cal destacar que, en general, els estudis de carboni dels boscos es basen en l'aplicació d'equacions al·lomètriques i models que permeten calcular o estimar paràmetres descriptius de parts de la vegetació de difícil inventari, com ara la biomassa de branques, fulles i arrels. Aquestes al·lometries són complexes d'elaborar, però com més semblant sigui l'àmbit en el qual es generen, més acurats són els resultats. En aquest estudi s'han emprat diverses al·lomètriques provinents de diversos àmbits, per la qual cosa la



generació d'al·lometries pròpies dels boscos d'Andorra pot, *a priori*, millorar la precisió dels resultats obtinguts. També es poden obtenir millores en el resultat a partir de l'aplicació de noves eines de modelització per a la realització o reajustament de les al·lometries.

No obstant l'anterior, els resultats obtinguts en aquest informe aporten informació valuosa sobre l'estat del carboni als boscos d'Andorra. A mode orientatiu, la Taula 24 mostra els percentatges de l'estoc de carboni de les fraccions estudiades per a Andorra comparades amb l'estimat per als sistemes forestals d'Espanya. Com que no s'inclou el sòl mineral, la part arbrada és la que més carboni representa, tot mantenint similituds en totes les fraccions. Les diferències a la part arbustiva i a la fusta morta poden respondre a les diferències pròpies dels sistemes estudiats, quant a l'estructura forestal (més abundància de matollars en sistemes mediterranis, més abundància de fusta morta en boscos de muntanya més desenvolupats) i a l'ecologia (clima, fisiografia).

Taula 24. Percentatges de l'estoc de carboni estimats per als sistemes forestals d'Espanya i els boscos d'Andorra. Les dades d'Espanya provenen d'una recopilació de Ruiz-Peinado (ICIFOR-INIA, CSIC) a partir de: Montero et al. (2020), Alberdi et al. (2020) i López-Senespleda et al. (2021).

Fracció	Espanya	Andorra
Arbrat	82,6%	79,7%
Arbustiu	5,2%	3,4%
Fusta morta	1,3%	5,6%
Horitzó orgànic	10,9%	11,3%

Referències bibliogràfiques

- Alberdi, I., Moreno-Fernández, D., Cañellas, I., Adame, P., Hernández, L. 2020. Deadwood stocks in south-western European forests: Ecological patterns and large scale assessments. *Science of The Total Environment* 747,141237. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141237
- Beltrán, M., Busquets, E., Piqué, M., Domènech, M., Travesset, O. (coord.) 2023. 1r Inventari Nacional Forestal (INF1) del Principat d'Andorra. Metodologia d'establiment i seguiment de la xarxa de parcel·les permanents. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya i Andorra Recerca + Innovació.
- De Cáceres, M., Casals, P., Gabriel, E., Castro, X. 2019. Scaling-up individual-level allometric equations to predict stand-level fuel loading in Mediterranean shrublands. *Annals of Forest Science* 76, 87. DOI: 10.1007/s13595-019-0873-4
- DGDRPF. (2016). Mapa Forestal de España. Escala 1:25.000. Catalunya. Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- DGCN. (2005). Tercer Inventario Forestal Nacional (1997-2007): Catalunya. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente.
- López-Senespleda, E., Calama, R., Ruiz-Peinado, R. 2021. Estimating forest floor carbon stocks in woodland formations in Spain. *Science of The Total Environment* 788 (8). DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147734
- Menéndez-Miguélez, M., Ruiz-Peinado, R., del Río, M., Calama, R. 2021. Improving tree biomass models through crown ratio patterns and incomplete data sources. *European Journal of Forest Research* 140675-689. DOI: 10.1007/s10342-021-01354-3
- Montero, G., López-Leiva, C., Ruiz-Peinado, R., López-Senespleda, E., Onrubia, R., Pasalodos, M. 2020. Producción de biomasa y fijación de carbono por los matorrales españoles y por el horizonte orgánico superficial de los suelos forestales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Rodríguez Martín, JA., Álvaro-Fuentes, J., Gonzalo, J., Gil, C., Ramos-Miras, JJ., Grau, JM., Boluda, R. 2016. Assessment of the soil organic carbon stock in Spain. *Geoderma* 264,117-125. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.10.010
- Stakėnas, V., Varnagiryte-Kabašinskienė, I., Sirgedaitė-Šežienė, V., Armolaitis, K., Araminienė, V., Muraškienė, M., Žemaitis, P. 2020. Dead wood carbon density for the main tree species in the Lithuanian hemiboreal forest. *European Journal of Forest Research*, 139 (1). DOI: 10.1007/s10342-020-01306-3



Annex 1. Taules equivalents segons hàbitats

Es presenten a continuació les taules mostrades al document, principalment a l'apartat 3 de resultats, però referides als hàbitats de bosc identificats segons el Mapa digital dels Hàbitats d'Andorra de l'any 2012 (al document es troben referides als estrats d'inventari definits a la metodologia de l'INF).

En les següents taules es perceben les dades obtingudes i mostrades en l'apartat 3. de Resultats, amb la diferència que en aquestes es mostren per hàbitat en comptes de per estrat.

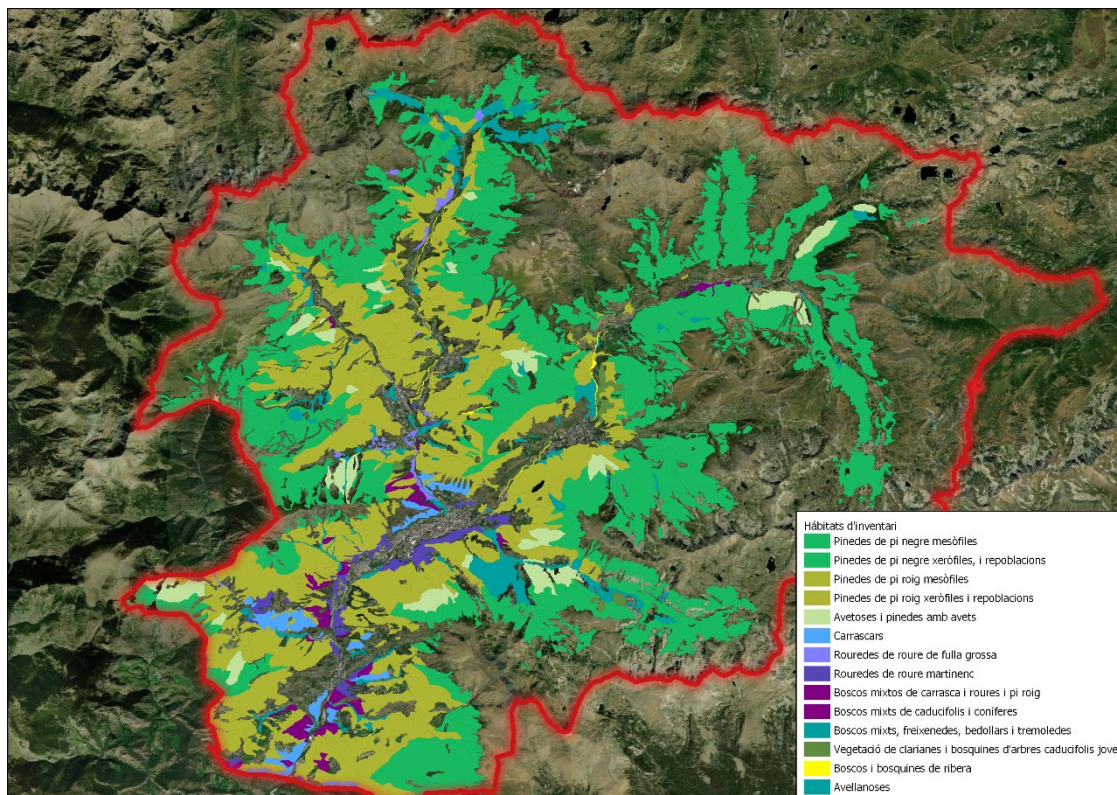


Figura 10. Hàbitats de la superfície forestal arbrada d'Andorra emprats per a la distribució de les parcel·les permanents de l'Inventari Nacional Forestal.

Taula 25. Superfície i representativitat dels diferents hàbitats forestals arbrats.

Hàbitats d'inventari	Codi	Superfície ha	%
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	5.337,51	29,3
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	3.791,86	20,8
Pinedes de pi negre xeròfiles, i repoblacions	PNX	3.629,75	19,9
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	2.699,46	14,8
Boscoss mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	722,63	4,0
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	835,38	4,6
Carrascars	CAR	324,47	1,8
Rouredes de roure martinenc	RMR	249,60	1,4
Avellanoses	COR	162,96	0,9
Boscoss mixts de caducifolis i coníferes	BMC	154,57	0,8

Hàbitats d'inventari	Codi	Superfície ha	%
Boscós mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	124,59	0,7
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	85,51	0,5
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	80,64	0,4
Boscós i bosquines de ribera	BBR	28,05	0,2
TOTAL		18.226,98	

Estoc i embornal de carboni en l'estrat arbori

Taula 26. Resultats de l'estoc i l'embornal de carboni obtingut per al total dels boscos d'Andorra i per als hàbitats amb dades disponibles.

Hàbitat	Carboni Aeri Total (t/ha)			Carboni Subterrani total (t/ha)			Increment de Carboni Aeri total (t/ha*any)			Increment de Carboni Subterrani total (t/ha*any)		
	Mínima	Mitjana	Màxima	Mínima	Mitjana	Màxima	Mínima	Mitjana	Màxima	Mínima	Mitjana	Màxima
Total	10,5	69,9	149,2	4,1	33,0	107,5	0,2	2,0	6,7	0,1	1,1	3,5
PNM	12,2	66,6	118,2	5,3	35,7	72,2	0,6	2,0	4,6	0,3	1,0	2,4
PRX	10,5	68,1	118,0	4,1	25,6	42,1	0,2	2,0	3,6	0,1	1,0	1,9
PNX	30,2	70,9	149,2	16,6	39,8	107,5	0,8	1,8	4,8	0,4	1,0	2,5
PRM	34,8	86,0	135,3	16,7	29,8	44,1	1,1	2,5	3,8	0,6	1,3	2,0
BMF	33,7	61,8	91,2	18,4	29,9	41,5	1,0	2,2	5,8	0,5	1,2	3,1
AVE	65,7	97,8	130,2	30,2	42,0	55,7	1,1	3,5	6,7	0,6	1,8	3,5
CAR	16,9	36,9	69,7	7,8	23,9	37,1	0,3	0,8	1,5	0,1	0,4	0,8
RMR	22,1	49,2	84,7	11,8	29,3	39,1	0,4	0,8	1,5	0,2	0,4	0,8
COR	23,5	28,8	34,0	9,5	15,4	21,2	1,1	1,5	1,9	0,6	0,8	1,0
BMC	25,8	25,8	25,8	9,8	9,8	9,8	0,7	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4
BMQ	25,5	37,9	50,3	20,0	28,1	36,1	1,0	1,1	1,2	0,5	0,6	0,6
VCB	47,7	47,7	47,7	28,8	28,8	28,8	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0
RFG	76,9	76,9	76,9	28,9	28,9	28,9	1,2	1,2	1,2	0,6	0,6	0,6
BBR*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*En aquest estrat no hi ha cap parcel·la d'inventari.

Taula 27. Resultats de la quantitat total d'estoc i embornal de carboni per a tota la superfície forestal arbrada i per hàbitats amb dades disponibles.

Hàbitat	Superfície (ha)	Carboni Aeri Total (t)	Carboni Subterrani Total (t)	Increment de Carboni Aeri Total (t/any)	Increment de Carboni Subterrani Total (t/any)
Total	18.226,98	1.274.620	601.913	36.764	19.326
PNM	5.337,51	355.554	190.683	10.456	5.490
PRX	3.791,86	258.186	97.042	7.464	3.932
PNX	3.629,75	257.333	144.481	6.707	3.547
PRM	2.699,46	232.115	80.521	6.681	3.500
BMF	722,63	44.686	21.571	1.617	858
AVE	835,38	81.736	35.086	2.912	1.528



Hàbitat	Superfície (ha)	Carboni Aeri Total (t)	Carboni Subterrani Total (t)	Increment de Carboni Aeri Total (t/any)	Increment de Carboni Subterrani Total (t/any)
CAR	324,47	11.984	7.755	249	119
RMR	249,60	12.280	7.322	208	108
COR	162,96	4.685	2.501	244	130
BMC	154,57	3.988	1.515	108	62
BMQ	124,59	4.722	3.495	137	69
VCB	85,51	4.079	2.463	171	86
RFG	80,64	6.201	2.330	97	48
BBR*	28,05	1.962	926	57	30

*Aquest estrat està calculat en base a la mitjana global, donat que no hi ha parcel·les representatives.

Estoc de carboni en l'estrat arbustiu

Taula 28. Resultats de la quantitat de l'estoc de carboni aeri total de l'estrat arbustiu, per al total dels boscos d'Andorra i per als hàbitats amb dades disponibles.

Hàbitat	Codi	Carboni aeri de l'estrat arbustiu (t/ha)		
		Mínima	Mitjana	Màxima
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	0,00	5,38	14,25
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	0,63	4,09	10,90
Pinedes de pi negre xeròfiles, i repoblacions	PNX	0,00	3,09	7,42
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	0,00	4,14	9,29
Boscos mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	0,88	5,15	9,91
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	0,00	3,44	7,24
Carrascars	CAR	1,04	5,10	12,20
Rouredes de roure martinenc	RMR	4,97	6,94	8,97
Avellanoses	COR	0,74	2,29	3,83
Boscos mixts de caducifolis i coníferes	BMC	11,52	11,52	11,52
Boscos mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	0,90	2,18	3,45
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	3,08	3,08	3,08
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	7,78	7,78	7,78
Boscos i bosquines de ribera	BBR*	-	-	-
TOTAL		0,00	4,34	14,25

*En aquest estrat no hi ha cap parcel·la d'inventari.

Taula 29. Resultats de la quantitat total d'estoc del Carboni Aeri Total de l'estrat arbustiu, per a tota la superfície forestal arbrada i per hàbitats amb dades disponibles.

Hàbitat	Codi	Superfície (ha)	Carboni aeri total estrat arbustiu (t)
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	5.337,51	28.716
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	3.791,86	15.509
Pinedes de pi negre xeròfiles, i repoblacions	PNX	3.629,75	11.216
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	2.699,46	11.176



Hàbitat	Codi	Superfície (ha)	Carboni aeri total estrat arbustiu (t)
Boscoss mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	722,63	3.722
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	835,38	2.874
Carrascars	CAR	324,47	1.655
Rouredes de roure martinenc	RMR	249,60	1.732
Avellanoses	COR	162,96	373
Boscoss mixts de caducifolis i coníferes	BMC	154,57	1.781
Boscoss mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	124,59	272
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	85,51	263
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	80,64	627
Boscoss i bosquines de ribera	BBR*	28,05	122
TOTAL		18.226,98	80.036

*Aquest estrat està calculat en base a la mitjana global, donat que no hi ha parcel·les representatives.

Estimació de l'estoc de carboni d'altres elements forestals

Carboni de la fusta morta en peu i a terra

Taula 30. Resultats l'estoc de carboni de la fusta morta (en peu i a terra), obtingut per al total dels boscoss d'Andorra i per als hàbitats amb dades disponibles.

Hàbitat	Codi	Carboni de la fusta morta (t/ha)					
		Fusta morta en peu			Fusta morta a terra		
		Mínima	Mitjana	Màxima	Mínima	Mitjana	Màxima
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	0,00	2,70	18,87	0,00	4,28	34,33
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	0,00	1,71	11,64	0,00	4,21	28,09
Pinedes de pi negre xeròfiles, i repoblacions	PNX	0,00	2,92	12,35	0,00	5,85	53,41
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	0,00	1,97	10,42	0,00	5,24	18,50
Boscoss mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	0,00	1,53	6,71	0,00	0,71	4,94
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	1,36	7,74	19,08	0,00	8,86	31,52
Carrascars	CAR	0,00	0,23	0,43	0,00	0,46	1,37
Rouredes de roure martinenc	RMR	0,04	0,28	0,72	0,00	16,67	50,01
Avellanoses	COR	0,52	0,95	1,38	0,00	2,45	4,90
Boscoss mixts de caducifolis i coníferes	BMC	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
Boscoss mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	0,00	0,37	0,73	0,00	0,00	0,00
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	0,09	0,09	0,09	0,00	0,00	0,00
Boscoss i bosquines de ribera	BBR*	-	-	-	-	-	-
TOTAL		0,00	2,42	19,08	0,00	4,78	53,41

*En aquest estrat no hi ha cap parcel·la d'inventari.



Taula 31. Resultats l'estoc de carboni de la fusta morta (en peu i a terra), obtingut per a tota la superfície forestal arbrada i per hàbitats amb dades disponibles.

Hàbitat	Codi	Superfície (ha)	Carboni de la fusta morta (t)		
			En peu	A terra	Total
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	5.337,51	14.426	22.850	37.276
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	3.791,86	6.471	15.975	22.446
Pinedes de pi negre xeròfiles, i repoblacions	PNX	3.629,75	10.590	21.227	31.818
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	2.699,46	5.318	14.131	19.450
Boscots mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	722,63	1.106	514	1.620
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	835,38	6.466	7.400	13.867
Carrascars	CAR	324,47	75	148	224
Rouredes de roure martinenc	RMR	249,60	69	4.160	4.229
Avellanoses	COR	162,96	155	399	554
Boscots mixts de caducifolis i coníferes	BMC	154,57	3	0	3
Boscots mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	124,59	46	0	46
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	85,51	0	0	0
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	80,64	7	0	7
Boscots i bosquines de ribera	BBR*	28,05	68	134	202
TOTAL		18.226,98	44.198	87.164	131.361

*Aquest estrat està calculat en base a la mitjana global, donat que no hi ha parcel·les representatives.

Carboni de la matèria orgànica del sòl

Taula 32. Resultats de l'estoc de carboni en la matèria orgànica del sòl obtingut per cada estrat.

Hàbitat	Codi	Carboni de la matèria orgànica del sòl (t/ha)		
		Mínima	Mitjana	Màxima
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	11,61	13,46	15,87
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	12,59	16,98	21,08
Pinedes de pi negre xeròfiles, i repoblacions	PNX	11,62	13,33	16,10
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	12,48	17,54	21,63
Boscots mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	8,84	12,35	14,84
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	10,38	13,81	16,47
Carrascars	CAR	7,44	10,37	15,51
Rouredes de roure martinenc	RMR	7,69	9,92	12,74
Avellanoses	COR	11,22	11,58	11,97
Boscots mixts de caducifolis i coníferes	BMC	8,19	11,62	16,83
Boscots mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	8,35	10,74	16,38
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	9,77	11,74	14,57
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	6,45	10,26	14,20
Boscots i bosquines de ribera	BBR*	-	-	-
TOTAL		6,45	14,57	21,63



**En aquest estrat no hi ha cap parcel·la d'inventari.*

Taula 33. Resultats de l'estoc de carboni en la matèria orgànica del sòl per al total dels boscos d'Andorra.

Hàbitat	Codi	Superfície (ha)	Carboni de la matèria orgànica del sòl (t)
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	5337,51	71.863
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	3791,86	6.4403
Pinedes de pi negre xeròfiles, i repoblacions	PNX	3629,75	4.8398
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	2699,46	4.7358
Boscos mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	722,63	8.924
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	835,38	11.534
Carrascars	CAR	324,47	3.366
Rouredes de roure martinenc	RMR	249,60	2.475
Avellanoses	COR	162,96	1.886
Boscos mixts de caducifolis i coníferes	BMC	154,57	1.796
Boscos mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	124,59	1.338
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	85,51	1.004
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	80,64	827
Boscos i bosquines de ribera	BBR*	28,05	311
TOTAL		18.226,98	265.489

**Aquest estrat està calculat en base a la mitjana global, donat que no hi ha parcel·les representatives.*

Resultat total d'estoc de carboni als boscos d'Andorra

Taula 34. Resultats mitjans de l'estoc de carboni per cada una de les faccions calculades dels boscos d'Andorra.

Hàbitat	Codi	Carboni aeri total arbori (t/ha)	Carboni subterrani total arbori (t/ha)	Carboni aeri total arbustiu (t/ha)	Carboni de la fusta morta en peu (t/ha)	Carboni de la fusta morta a terra (t/ha)	Carboni de la matèria orgànica del sòl (t/ha)
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	66,6	35,7	5,4	2,7	4,3	13,5
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	68,1	25,6	4,1	1,7	4,2	17,0
Pinedes de pi negre xeròfiles, i repoblacions	PNX	70,9	39,8	3,1	2,9	5,8	13,3
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	86,0	29,8	4,1	2,0	5,2	17,5
Boscos mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	61,8	29,9	5,2	1,5	0,7	12,3



Hàbitat	Codi	Carboni aeri total arbori (t/ha)	Carboni subterrani total arbori (t/ha)	Carboni aeri total arbustiu (t/ha)	Carboni de la fusta morta en peu (t/ha)	Carboni de la fusta morta a terra (t/ha)	Carboni de la matèria orgànica del sòl (t/ha)
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	97,8	42,0	3,4	7,7	8,9	13,8
Carrascars	CAR	36,9	23,9	5,1	0,2	0,5	10,4
Rouredes de roure martinenc	RMR	49,2	29,3	6,9	0,3	16,7	9,9
Avellanoses	COR	28,7	15,3	2,3	1,0	2,4	11,6
Boscots mixts de caducifolis i coníferes	BMC	25,8	9,8	11,5	0,0	0,0	11,6
Boscots mixtos de carrasca i roures i pi roig	BMQ	37,9	28,1	2,2	0,4	0,0	10,7
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	47,7	28,8	3,1	0,0	0,0	11,7
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	76,9	28,9	7,8	0,1	0,0	10,3
Boscots i bosquines de ribera	BBR*	-	-	-	-	-	11,1
TOTAL		69,9	33,0	4,4	2,4	4,8	14,6

*En aquest estrat no hi ha cap parcel·la d'inventari.

Taula 35. Resultats totals de l'estoc de carboni per cada una de les faccions calculades dels boscos d'Andorra.

Hàbitat	Codi	Superfície (ha)	Carboni aeri total arbori (t)	Carboni subterrani total arbori (t)	Carboni aeri total arbustiu (t)	Carboni de la fusta morta en peu (t)	Carboni de la fusta morta a terra (t)	Carboni de la matèria orgànica del sòl (t)	Total Estoc de Carboni estimat (t)
Pinedes de pi negre mesòfiles	PNM	5.337,51	355.554	190.683	28.716	14.426	22.850	71.863	684.092
Pinedes de pi roig xeròfiles i repoblacions	PRX	3.791,86	258.186	97.042	15.509	6.471	15.975	64.403	457.586
Pinedes de pi negre xeròfiles, i repoblacions	PNX	3.629,75	257.333	144.481	11.216	10.590	21.227	48.398	493.245

Hàbitat	Codi	Superfície (ha)	Carboni aeri total arbori (t)	Carboni subterrani total arbori (t)	Carboni aeri total arbustiu (t)	Carboni de la fusta morta en peu (t)	Carboni de la fusta morta a terra (t)	Carboni de la matèria orgànica del sòl (t)	Total Estoc de Carboni estimat (t)
Pinedes de pi roig mesòfiles	PRM	2.699,46	232.115	80.521	11.176	5.318	14.131	47.358	390.619
Boscots mixts, freixenedes, bedollars i tremoledes	BMF	722,63	44.686	21.571	3.722	1.106	514	8.924	80.523
Avetoses i pinedes amb avets	AVE	835,38	81.736	35.086	2.874	6.466	7.400	11.534	145.096
Carrascars	CAR	324,47	11.984	7.755	1.655	75	148	3.366	24.983
Rouredes de roure martinenc	RMR	249,6	12.280	7.322	1.732	69	4.160	2.475	28.038
Avellanoses	COR	162,96	4.685	2.501	373	155	399	1.886	9.999
Boscots mixts de caducifolis i coníferes	BMC	154,57	3.988	1.515	1.781	3	0	1.796	9.083
Boscots mixts de carrasca i roures i pi roig	BMQ	124,59	4.722	3.495	272	46	0	1.338	9.873
Vegetació de clarianes i bosquines d'arbres caducifolis	VCB	85,51	4.079	2.463	263	0	0	1.004	7.809
Rouredes de roure de fulla grossa	RFG	80,64	6.201	2.330	627	7	0	827	9.992
Boscots i bosquines de ribera	BBR*	28,05	1.962	926	122	68	134	311	3.523
TOTAL		18.226,98	1.274.620	601.913	80.036	44.198	87.164	265.489	2.353.420

*Aquest estrat està calculat en base a la mitjana global, donat que no hi ha parcel·les representatives.

Annex 2. Glossari

Les abreviatures i acrònims utilitzats en aquest document són:

- **AR+I** – Andorra Recerca + Innovació
- **BAT** – Biomassa Aèria Total
- **BArb** – Biomassa Aèria de l'estrat Arbustiu
- **BST** – Biomassa Subterrània Total
- **CAT** – Carboni Aeri Total
- **CArb** – Carboni Aeri de l'estrat Arbustiu
- **CENMA-IEA** – Centre d'Estudis de la Neu i Muntanya d'Andorra – Institut d'Estudis Andorrans
- **CFM** – Carboni de la Fusta Morta
- **CMO** – Carboni de la Matèria Orgànica del sòl
- **CSIC** – “Consejo Superior de Investigaciones Científicas”
- **CST** – Carboni Subterrani Total
- **CTFC** – Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya
- **Dcm** – Diàmetre central fusta morta a terra
- **DGRPF** – “Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal”
- **DGNC** – “Dirección General de Conservación de la Naturaleza”
- **Dn** – Diàmetre normal arbres vius inventariables
- **Dnm** – Diàmetre normal fusta morta en peu
- **GLM** – “Generalized Linear Model”
- **Hm** – Alçada estrat arbustiu
- **Ht** – Alçada total arbres vius inventariables
- **Htm** – Alçada total fusta morta en peu
- **IAVC** – Increment Anual de Volum amb Escorça
- **ICAT** – Increment Anual de Carboni Aeri Total
- **ICIFOR-INIA** – “Instituto de Ciencias Forestales” – “Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria i Alimentaria”
- **ICST** – Increment Anual de Carboni Subterrani Total
- **ICGC** – Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
- **IDE** – Infraestructura de Dades Espacials d'Andorra
- **IEFC** – Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya
- **IFN** – Inventari Forestal Nacional Espanyol
- **INF-AND** – Inventari Nacional Forestal d'Andorra
- **IPCC** – “Intergovernmental Panel on Climate Change”
- **LFC** – Laboratori Forestal Català
- **Ltm** – Longitud fusta morta a terra
- **MDE** – Model Digital d'Elevacions
- **MFE25** – Mapa Forestal d'Espanya. Escala 1:25.000
- **PHV** – Fitovolum arbustiu
- **Rm** – Recobriment estimat estrat arbustiu
- **VAE** – Volum amb Escorça





SCIENCE FOR FOREST MANAGEMENT,
BIODIVERSITY & BIOECONOMY
Change the future, today

Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya

Ctra. de St. Llorenç de Morunys, km 2 (direcció Port del Comte)

E-25280 Solsona / T +34 973 48 17 52 / www.ctfc.cat