



FACULTAT
DE CIÈNCIES
I TECNOLOGIA

UVIC | UVIC·UCC



Treball de fi de grau

DISPONIBILITAT DE CAVITATS EN
TERRITORIS DE MUSSOL PIRINENC
(*AEGOLIUS FUNEREUS*) A L'ESTATGE
SUBALPÍ DELS PIRINEUS ORIENTALS

MARC ROTA COLLELL

Grau en Ciències Ambientals

Tutor/a: Jordi Camprodon Subirachs

Vic, gener de 2021

Agraïments

Agrair principalment a en Jordi Camprodon, per la direcció i guiatge en aquest treball, així com també per donar-me l'oportunitat de treballar en un tema tant rellevant i aportant-hi els seus extensos coneixements. Agrair també a en David Portorny i a en Jordi Faus per la informació aportada i la cessió de dades de reproduccions. Agrair-li de nou a en David, així com també a en Marc Martín per la cessió del material necessari per duu terme els mostresjos. També agrair a en Raimon Mariné i en Jordi Dalmau, pioners en l'estudi del mussol pirinenc a Catalunya, per la seva atenció i els coneixements aportats. Finalment donar les gràcies a l'Eric Serratosa per l'ajuda durant el treball de camp i a tota la família i amics pel seu suport durant la realització del treball.

Resum

Títol: *Disponibilitat de cavitats en territoris de mussol pirinenc (Aegolius funereus) a l'estatge subalpí dels Pirineus orientals.*

Autor: Marc Rota Collell.

Tutor: Dr. Jordi Camprodon Subirachs (Uvic-UCC; CTFC).

Data: Gener de 2021.

Paraules clau: *cavitats, mussol pirinenc, picots, estructura forestal, caixa niu.*

Les cavitats naturals i excavades per pícids en els arbres són un element clau per a la conservació del mussol pirinenc a les pinedes de pi negre de la vessant sud dels Pirineus. Per tal de conèixer quina és la disponibilitat de cavitats i la seva idoneïtat a ser utilitzades pel mussol, es va fer un cens de cavitats en 12 territoris de mussol pirinenc a la vessant sud dels Pirineus orientals (Catalunya). L'estudi relaciona la disponibilitat de cavitats i arbres niu amb variables d'estructura forestal i la ocupabilitat de les caixes niu. S'han obtingut unes densitats de 1,7 cavitats per hectàrea i 1,1 arbres niu per hectàrea, essent les cavitats de picot garser gros les més abundants, seguit de les de picot negre. Els models estadístics han mostrat que els boscos amb característiques de maduresa són els més abundants en arbres niu, amb una relació significativa amb les variables diàmetre normal mitjà del rodal i densitat de fusta morta en peu. Les cavitats de picot negre presenten una relació significativament positiva amb el diàmetre normal mitjà, la densitat de fusta morta en peu i l'àrea basal del rodal, mentre que les cavitats de picot garser gros només estan relacionades amb el diàmetre normal mitjà. S'ha observat que en els territoris amb menor disponibilitat de cavitats hi ha una major utilització de les caixes niu. Calen mesures de gestió i conservació de les cavitats i dels boscos madurs per tal de preservar les poblacions de mussol pirinenc als Pirineus.

Summary

Title: *Availability of cavities in Tengmalm owl territories (Aegolius funereus) in the subalpine forests of Eastern Pyrenees.*

Author: Marc Rota Collell.

Supervisor: Dr. Jordi Camprodon Subirachs (Uvic-UCC; CTFC).

Date: January 2021.

Keywords: *cavities, Tengmalm owl, woodpeckers, forest structure, nest box.*

Natural cavities and those excavated by woodpeckers in trees are a key structure for Tengmalm's owl conservation in *Pinus uncinata* forests of Southern Pyrenees. In order to know the total availability of cavities and its suitability to be occupied for the specie, a cavity census was carried out in 12 territories of Tengmalm owl in south-eastern Pyrenees (Catalonia). This study relates the availability of cavities and nest trees with forest structure and occupancy of nest boxes. 1,7 cavities each hectare and 1,1 nest trees each hectare have been found, being great spotted woodpecker cavities the most abundant, followed by black woodpecker cavities. Resultant models have shown more abundance of nest trees in mature forests, being the diameter at breast height and density of standing dead trees the most influencer variables. Black woodpecker cavities are positive related with diameter at breast height, density of standing dead trees and basal area, meanwhile great spotted woodpecker cavities are only related with diameter at breast height. The occupancy of nest boxes is higher in territories with less availability of cavities. Conservation and management measures are required to conserve natural and woodpecker cavities and mature forests in order to preserve Tengmalm's owl populations in Pyrenees mountains.

Índex

1	Introducció	1
2	Objectius:	5
3	Metodologia	6
3.1	Àrea d'estudi	6
3.2	Mostreig de cavitats	8
3.3	Estudi de la utilització de les caixes niu	9
3.4	Estudi a escala de territori.....	10
3.5	Anàlisi de dades.....	11
4	Resultats	13
4.1	Característiques dels arbres niu	14
4.1.1	Picot garser gros (<i>Dendrocopos major</i>).....	14
4.1.2	Picot negre (<i>Dryocopus martius</i>).....	15
4.1.3	Picot verd (<i>Picus viridis</i>)	16
4.1.4	Cavitats naturals	17
4.1.5	Caixes niu	17
4.2	Ocupabilitat de les caixes niu	18
4.3	Relació de la disponibilitat de cavitats amb l'estructura forestal.....	19
4.3.1	Relació amb la disponibilitat total d'arbres niu.....	19
4.3.2	Relació amb la disponibilitat de cavitats de picot garser gros	20
4.3.3	Relació amb la disponibilitat de cavitats de picot negre	21
5	Discussió	23
5.1	Implicacions per a la gestió	28
6	Conclusions	31
7	Bibliografia	32

Llista de taules

Taula 1: Variables d'estructura forestal, i els seus acrònims, utilitzades per a l'estudi a escala de territori.....	10
Taula 2: Matriu de correlacions d'Spearman entre les variables independents, d'estructura forestal. Les abreviacions s'especifiquen a la taula 1.....	12
Taula 3: Resum dels paràmetres dels arbres niu dels diferents tipus de cavitats: picot garser gros (N=34), picot negre (N=21), picot verd (N=7), natural (N=12). Els valors representen la mitjana i la desviació estàndard.	17
Taula 4: Resum del conjunt de Models Lineals Generalitzats (GLM), on s'avalua la relació entre les variables d'estructura forestal i la disponibilitat total d'arbres niu i de dues espècies de píccids: picot garser gros i picot negre (N=12). Els valors en negreta indiquen resultats significatius (p-valor < 0,05).	22
Taula 5: Característiques bàsiques i identificatives dels nius dels picots de la Península Ibèrica. Font: Camprodon i altres (2007).	I
Taula 6: fitxa de camp utilitzada durant el mostreig de cavitats.....	II
Taula 7: Característiques d'hàbitat i d'estructura forestal dels 12 territoris mostrejats. .III	
Taula 8: Taula resum dels models realitzats amb les variables dependents nombre d'arbres niu, nombre de cavitats de picot garser gros i nombre de cavitats de picot negre, respecte la variable predictora alçada mitjana dels arbres (Hmit).	IV
Taula 9: Taula resum dels models realitzats amb les variables dependents nombre d'arbres niu, nombre de cavitats de picot garser gros i nombre de cavitats de picot negre, respecte la variable predictora fracció de coberta (FCC).	IV
Taula 10: Descripció de les tipologies de fusta mortes en peu.	V

Llista de figures

Figura 1: mapa comarcal de Catalunya amb les comarques de l'Alt Urgell, la Cerdanya i el Ripollès representades en rosa. Els punts vermell representen les capitals de les comarques mostrejades i de Catalunya. Font: adaptat del mapa comarcal de Catalunya (CARTO, 2020).....	6
Figura 2: Mapa comarcal de Catalunya amb la distribució de les pinedes de pi negre (verd) i la ubicació dels territoris mostrejats (punts grocs). Els punts vermells representen les capitals de les comarques mostrejades. Font: adaptat de Cartografia dels Hàbitats de Catalunya, versió 2 (2018) (Departament de territori i Sostenibilitat, (2020)).	7
Figura 3: Exemple de parcel·la mostrejada (vermell) en territori de mussol pirinenc. Font: adaptat del mapa topogràfic 1:25000 de l'ICGC.	9
Figura 4: Percentatge de cada tipus de cavitat respecte el total de cavitats identificades.	13
Figura 5: Distribució de les cavitats (punts taronges), caixes niu (punts blaus) i cavitats a terra (punts grocs) en dos dels territoris mostrejats delimitats per les línies vermelles. Font: Adaptat de l'ortofotomapa de l'ICGC.	13
Figura 6: Classificació dels arbres niu amb cavitats de picot garser gros (N=62) (verd clar), picot negre (N=23) (blau), picot verd (N=7) (groc) i cavitats naturals (N=12) (verd fosc) segons l'estat vital de l'arbre.	14
Figura 7: Classificació dels arbres niu amb cavitats de picot garser gros (N=62), picot negre (N=23) i picot verd (N=7) segons el recobriment d'escorça del tronc.	15
Figura 8: Classificació dels arbres niu amb cavitats de picot garser gros (N=62), picot negre (N=23) i picot verd (N=7) segons la classe diamètrica de l'arbre (DBHm).	16
Figura 9: Classificació dels arbres niu amb cavitats de picot garser gros (N=62), picot negre (N=23) i picot verd (N=7) segons la classe d'alçada de l'arbre.....	16
Figura 10: Ocupacions en caixes niu i cavitats durant el període 05-10 en els 12 territoris estudiats, classificats segons la disponibilitat de cavitats (N=20).	18
Figura 11: Reproduccions en caixes niu durant el període 05-19 en 11 dels territoris estudiats, classificats segons la disponibilitat de cavitats (N=14).	18
Figura 12: Conjunt de gràfics on es mostra la relació lineal entre les variables d'estructura forestal (AB, DBHm i AM) la disponibilitat de total d'arbres niu. La línia de tendència	

representa l'evolució de la disponibilitat de cavitats al llarg del rang de cada variable predictora.	19
Figura 13: Conjunt de gràfics on es mostra la relació lineal entre les variables d'estructura forestal (AB, DBHm i AM) la disponibilitat de cavitats de picot garser gros. La línia de tendència representa l'evolució de la disponibilitat de cavitats al llarg del rang de cada variable predictora.....	20
Figura 14: Conjunt de gràfics on es mostra la relació lineal entre les variables d'estructura forestal (AB, DBHm i AM) la disponibilitat de cavitats de picot negre. La línia de tendència representa l'evolució de la disponibilitat de cavitats al llarg del rang de cada variable predictora.	21
Figura 15: Il·lustració de les tipologies de fusta morta en peu.	V
Figura 16: Imatges dels diferents tipus de cavitats. Part superior: arbres niu de picot garser gros. Part central: arbres niu de picot negre. Part inferior: arbre niu de picot verd i cavitat natural. Font: pròpia	VI
Figura 17: Imatges de diferents tipus de caixes nius. A dalt: interior d'una caixa niu buida. A baix, caixes niu de fusta i de ciment. Font pròpia.....	VII
Figura 18: A l'esquerra, arbre pare (llavorer), més alt que els del seu voltant i ramificat pràcticament des de la base que conté cavitats de picot garser gros. A la dreta, arbre niu amb cavitat de picot negre, mort i de creixement rectilini. Font pròpia	VIII

1 Introducció

La dinàmica natural bosc permet el procés de decadència a partir de la qual es generen refugis i cavitats que són utilitzades per a la fauna com a niu, magatzem d'aliments i amagatall (Gibbons & Lindenmayer, 2002, Cockle et al., 2011). Sovint, la gestió forestal tradicional trenca la dinàmica natural i limita el procés de producció i recanvi de noves cavitats, ja que elimina els arbres vells, decrepits o morts, més propensos a la formació de cavitats naturals. (Gibbons & Lindenmayer, 2002; Goodburn & Lorimer, 1998)

Les cavitats naturals són un recurs escàs en gran part dels boscos, on la major part de les cavitats disponibles són creades per les espècies excavadores de cavitats com els píccids, espècies clau i bioindicadores de l'estat de conservació d'un bosc, que proporcionen cavitats per a una gran varietat de grups ocupadors secundaris de cavitats (Aitken & Martin, 2007; Martin & Eadie, 1999; Remm & Lohmus, 2011; Virkkala, 2006). Les cavitats naturals i excavades als arbres són una estructura clau de la vegetació, ja que la seva disponibilitat i qualitat limita la reproducció i les poblacions de molts ocells a escala local, així com també d'alguns mamífers, rèptils i insectes. (Camprodon et al., 2008; Newton, 1994; 1998).

S'ha demostrat que els boscos madurs acullen les majors densitats de cavitats, mentre que en boscos gestionats la densitat decreix considerablement degut a la baixa disponibilitat d'arbres en declivi i a la baixa abundància d'espècies excavadores (Andersson et al., 2018; Camprodon et al., 2008). Les majors densitats de cavitats s'han trobat en boscos de la regió biogeogràfica Australiana (52,2/ha), mentre que la Paleàrtica és la regió amb les densitats més baixes (5,6/ha). En aquesta última, la disponibilitat és major en fagedes i en boscos amb arbres del gènere *Populus* (ex: *Populus tremula*), mentre que en boscos boreals, les cavitats són més escasses (Remm & Lohmus, 2011).

En els boscos boreals, un dels ocupants secundaris de cavitats és el mussol pirinenc (*Aegolius funereus*), espècie que es distribueix per tota la regió Holàrtica, tot i que de manera discontinua. Aquest rapinyaire nocturn habita ambients forestals on nidifica en cavitats en els arbres o en caixes niu. A la regió Paleàrtica, ocupa des de boscos d'abet roig (*Picea abies*) al nord, boscos mixtos de frondoses al centre d'Europa fins a boscos de

pi roig (*Pinus sylvestris*), pi negre (*Pinus uncinata*) i avet (*Abies alba*) en les zones muntanyoses (Cramp et al., 1983). Concretament als Pirineus, a la vessant nord ocupa boscos mixtos de faig (*Fagus sylvatica*) i avet entre els 1100 i els 1600 metres d'altitud, mentre que a la vessant sud ocupa principalment pinedes de pi negre a l'estatge subalpí (1700-2200 m.s.n.m.), tot i que també pot ser present en avetoses (Baucells, 2010; Prodon et al., 1990).

Més enllà del tipus de vegetació, els 3 factors que més influeixen en la distribució del mussol pirinenc a Catalunya són: la disponibilitat de preses per alimentar-se, principalment micromamífers; la isotèrmica dels <18 °C de temperatura màxima mitja durant el mes de juliol; i la presència de cavitats en els arbres on poder nidificar (López et al., 2010; Mariné & Dalmau, 2000; Mariné et al., 2007). El factor climàtic limita la seva distribució a la vessant sud dels Pirineus, relegant-lo als boscos subalpins de major altitud, ja que és una espècie adaptada als climes extrems i pot patir estrès fisiològic amb temperatures més altes (Hayward et al., 1993). Aquest fet influeix en els altres 2 factors, pel fet que a l'estatge subalpí, l'abundància de micromamífers és baixa i la disponibilitat de cavitats es veu molt limitada degut a les fortes pendents i l'abundant innivació hivernal, que limiten el creixement arbori i per tant la presència de peus aptes on el picot negre (*Dryocopus martius*) hi pugui excavar les seves cavitats (Mariné et al., 2004; 2007; Torre et al., 2013).

La disponibilitat de cavitats és un factor limitant de la reproducció del mussol pirinenc, que depèn directament de la presència d'espècies excavadores de cavitats com els picots (Joveniaux & Durand, 1987; Ravussin et al., 2001). El mussol ocupa preferentment cavitats excavades per picot negre (Auria, 2013; Joveniaux & Durand, 1987; Mikkola, 1983; Ravussin et al., 2001), tot i que en escassetat d'aquestes, també pot ocupar cavitats de pícids de menor tamany com el picot garser gros (*Dendrocopos major*) i el picot verd (*Picus viridis*), així com també caixes niu (Mariné & Dalmau, 2000). Aquestes espècies acostumen a excavar una cavitat nova cada any (Short, 1979), tot i que als boscos subalpins de Catalunya, la taxa de generació de cavitats del picot negre és molt inferior, degut a la baixa densitat d'arbres propicis (Martínez-Vidal, 2001, citat per Camprodon et al., 2007).

Com els picots, el mussol pirinenc tendeix a ocupar una cavitat diferent cada any per tal d'evitar paràsits i possibles depredacions per part de la marta i la fagina, (Korpimaki, 1984; Sonreud, 1985). Així doncs la disponibilitat de cavitats és un factor primordial per a la conservació del mussol a Catalunya, on és catalogada com a espècie amenaçada i protegida (Camprodon et al., 2020).

El mussol va passar desapercebut als Pirineus durant molt temps, fins que Bleach (1892) en va fer la primera cita. No va ser fins als anys 60 que es va començar a estudiar aquesta espècie al Pirineu, i fins llavors una gestió forestal tradicional sense plans d'aprofitament enfocats a la conservació, explotava les pinedes de pi negre per a l'obtenció de fusta i a la creació de pastures (Camprodon et al., 2020; Diputació de Barcelona, 2012). Aquest fet ha conduït a la situació actual, on gran part dels boscos gestionats no assoleixen estadis de maduresa, i com a conseqüència hi ha una manca d'hàbitat òptim pel mussol pirinenc.

El present estudi està enfocad a l'estudi de la disponibilitat de cavitats en territoris de mussol pirinenc als boscos subalpins del vessant sud dels Pirineus orientals. La idea va sorgir del projecte europeu POCTEFA 079/15 Habios *Preservar i gestionar els hàbitats de l'avifauna bio-indicadora dels Pirineus*, a través del Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya, amb l'objectiu de complementar la informació existent sobre la disponibilitat i característiques de les cavitats potencials per al mussol pirinenc a Catalunya. El projecte Habios té com a principal objectiu protegir i millorar la qualitat dels ecosistemes pirinencs i de la seva biodiversitat associada a través d'accions de conservació i de gestió d'espècies d'ocells bioindicadors.

Diversos estudis demostren la relació positiva entre boscos madurs i densitat de cavitats (Andersson et al., 2018; Camprodon et al., 2008), i d'aquesta amb la presència del mussol pirinenc (Joveniaux & Durand, 1987; Mariné & Dalmau, 2000). No obstant, a nivell Pirinenc i Català manquen estudis on es mostri quina és realment la disponibilitat de cavitats aptes per a la nidificació en els boscos subalpins on habita l'espècie. D'aquesta manera s'espera observar una alta densitat de cavitats, especialment de picot negre, en els territoris de mussol pirinenc, essent els boscos amb característiques de maduresa els més abundants en cavitats. A més, és coneguda la importància de l'aportació de caixes

niu en territoris de mussol, però caldria saber quin ús en fan i quina relació té la seva ocupació amb la disponibilitat de cavitats. Així doncs, s'espera trobar una major ocupabilitat de caixes niu en els territoris amb menor disponibilitat de cavitats.

2 Objectius:

L'objectiu principal que motiva la realització d'aquest treball és conèixer quina és la disponibilitat i tipologia de les cavitats en els territoris de mussol pirinenc a l'estatge subalpí dels Pirineus orientals. A partir d'aquí es plantegen els següents objectius específics:

- Relacionar les característiques dels arbres niu amb els tipus de cavitat i avaluar-ne l'adequació a ser utilitzades pel mussol pirinenc.
- Relacionar la disponibilitat de cavitats amb l'ocupabilitat de caixes niu
- Determinar les variables d'estructura forestal relacionades amb la disponibilitat de cavitats.
- Proposar mesures de gestió enfocades a la conservació de l'hàbitat de cria del mussol a escala de rodal i d'arbre.

3 Metodologia

3.1 Àrea d'estudi

L'estudi s'ha dut a terme a la vessant sud dels Pirineus orientals (Catalunya), i concretament entre les comarques de l'Alt Urgell, la Cerdanya i el Ripollès (figura 1). Al llarg d'aquesta àrea es van seleccionar 12 territoris coneguts de mussol pirinenc, tots ells situats a l'estatge subalpí. Als Pirineus catalans l'estatge subalpí es situa entre els 1600-2300m d'altitud i està dominat per les pinedes de pi negre (*Pinus uncinata*) combinades amb avet (*Abies alba*) i de tant en tant amb alguna frondosa (Bolós, 1991). Les pinedes de pi negre formen boscos generalment monoespecífics que ocupen un total de 56000 hectàrees a Catalunya, és a dir un 5% del total dels boscos (Diputació de Barcelona, 2012).

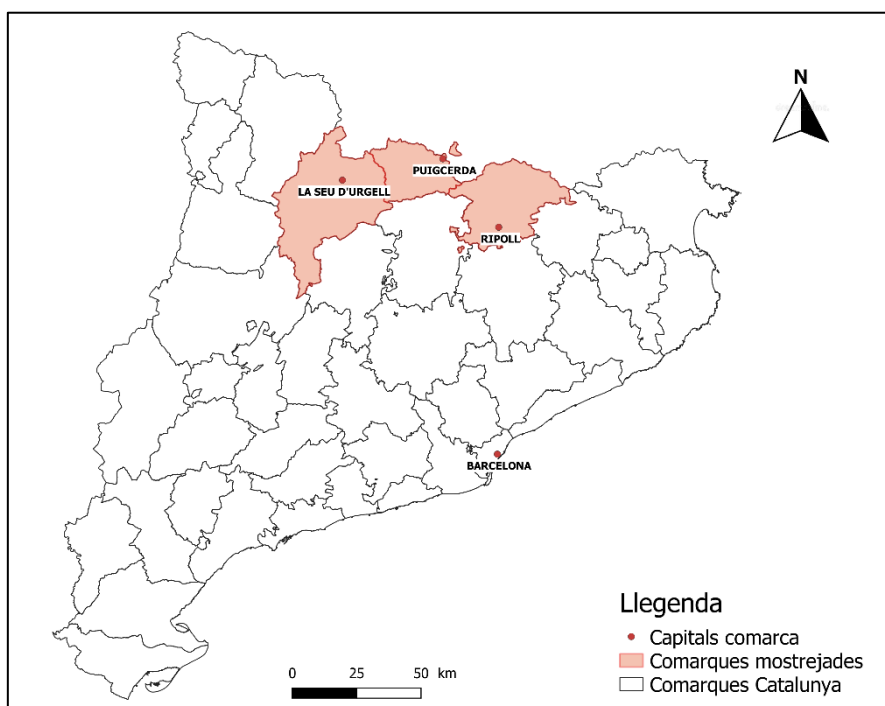


Figura 1: mapa comarcal de Catalunya amb les comarques de l'Alt Urgell, la Cerdanya i el Ripollès representades en rosa. Els punts vermells representen les capitals de les comarques mostrejades i de Catalunya. Font: adaptat del mapa comarcal de Catalunya (CARTO, 2020).

Segons el Mapa d'hàbitats de l'institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, els 12 territoris corresponen als hàbitats: Pinedes de pi negre (*Pinus uncinata*) generalment amb neret (*Rhododendron ferrugineum*), acidòfiles i mesòfiles, dels obacs pirinencs; i Pinedes de pi negre (*Pinus uncinata*), acidòfiles i xeròfiles, dels solells pirinencs, corresponents a les nomenclatures 42f i 42g respectivament (Carreras et al., 2005). En

algun dels casos, el pi negre va acompanyat d'alguns avets o algun pi roig (*Pinus sylvestris*) en les parts més baixes dels territoris mostrejats. L'altitud de les parcel·les d'estudi va dels 1725 als 2200 m, és a dir per sobre la isotèrmica dels 18 °C de Temperatura màxima mitjana al mes més calorós de l'any (Juliol), ja que és un factor limitant de la distribució de l'espècie als Pirineus (López et al., 2010) (Figura 2).

Les zones de mostreig s'han seleccionat segons antiguitat i certesa del territori, accessibilitat i que es tractés de boscos no gestionats recentment. Aquesta informació ha sigut aportada per David Potrony per als territoris situats a les comarques de la Cerdanya i l'Alt Urgell i per Jordi Faus per als territoris situats al Ripollès. La ubicació exacte de tots els territoris no es mostra ja que es tracta d'una espècie molt sensible. Cal afegir que un territori és definit per l'espai ocupat per un mascle durant tot l'any, i normalment són persistents durant varies temporades. Les femelles en canvi, canvien de territori cada temporada (Korpimaki, 1988).

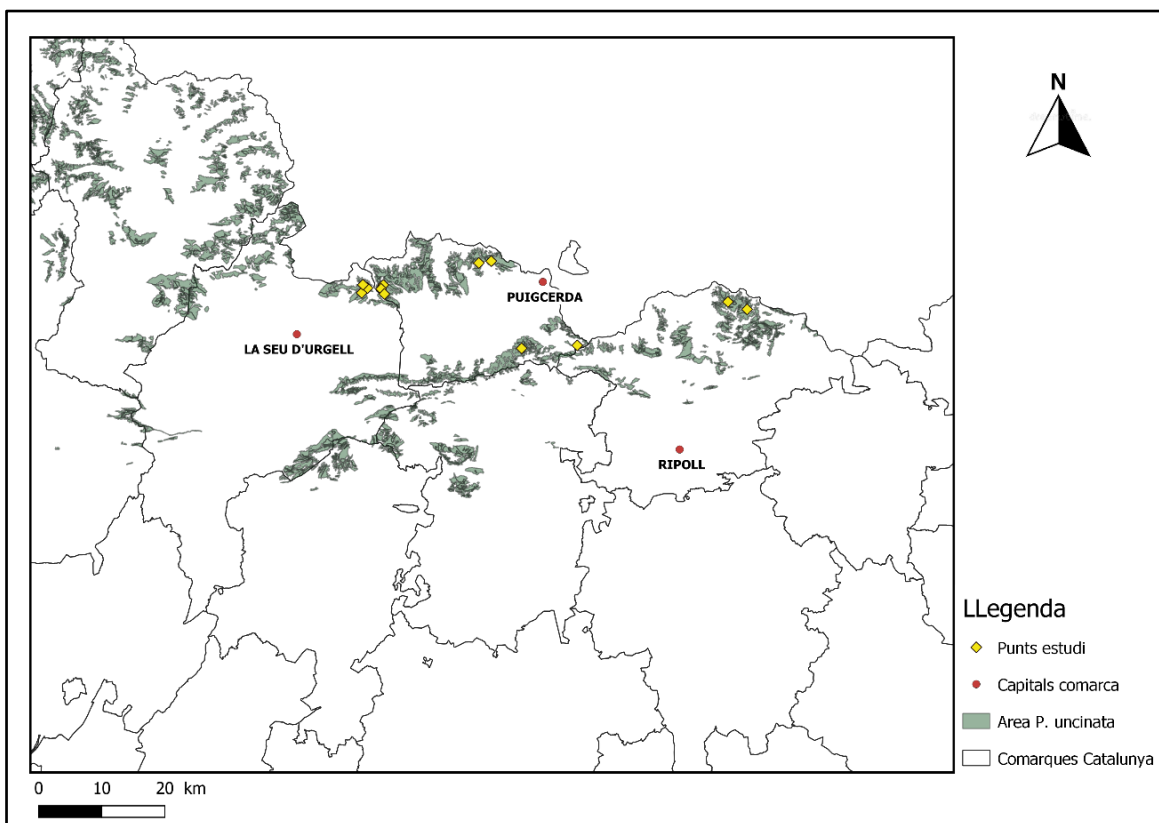


Figura 2: Mapa comarcal de Catalunya amb la distribució de les pinedes de pi negre (verd) i la ubicació dels territoris mostrejats (punts grocs). Els punts vermells representen les capitals de les comarques mostrejades. Font: adaptat de Cartografia dels Hàbitats de Catalunya, versió 2 (2018) (Departament de territori i Sostenibilitat, (2020)).

3.2 Mostreig de cavitats

En cadascun dels 12 territoris de mussol pirinenc s'hi va delimitar un polígon de 5 hectàrees, de forma no necessàriament regular, però que inclogués les caixes niu i/o les cavitats antigues conegudes on hi havia hagut reproducció del mussol en els darrers anys. D'aquesta manera s'obté una mostra altament representativa sobre la *core area* d'un territori de mussol pirinenc, ja que l'àrea utilitzada per a la reproducció s'estima entre 0,8-14,6 ha amb una mitjana de 7,6 ha (Hayward et al., 1993).

Per a la delimitació del polígon també s'ha tingut en compte que l'estructura del bosc fos homogènia, és a dir que no inclogués part de parcel·les gestionades recentment i amb una estructura d'arbrat poc òptima per a la nidificació. A partir d'aquí es van delimitar els polígons a través de l'ortofotomapa de Catalunya 1:25.000 i del Mapa Topogràfic de Catalunya 1:5.000 (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya [ICGC], 2020).

Durant els mesos de juliol-octubre de 2020, es va realitzar un transecte a cada territori per tal de detectar totes les cavitats presents al rodal. El transecte consisteix en recórrer la parcel·la seguint les corbes de nivell d'una cantonada fins a la cantonada adjacent a la mateixa altitud, per llavors seguir amb el transecte en sentit contrari, paral·lelament a l'anterior i a una distància d'uns 20 m. Així doncs, es duu a terme un únic transecte en forma de zig-zag per la totalitat del polígon (figura 3). D'aquesta manera es poden examinar tots els troncs dels arbres per sota de la primera branca, que tinguin un diàmetre superior a 25 cm a l'alçada del pit (DBH >25cm), mesura que es considera com a mínima perquè pugui acollir una cavitat de picot garser gros, que correspon a la mida mínima de cavitat per a un mussol pirinenc (Mariné & Dalmau, 2000). Molts dels forats que es troben no són realment cavitats, i per tant en cada forat es va comprovar que la cubeta estigués acabada mitjançant la perxa telescòpica unida a una càmera endoscòpica (també utilitzada per a mesurar l'alçada de la cavitat) i/o en alguns casos pujant a l'arbre (Baroni et al., 2020).

Les cavitats es classificaven segons l'origen: picot negre, picot garser gros, picot verd, natural, les quals s'identifiquen segons el diàmetre i la forma de l'entrada de la cavitat (annex A). Per a cada una es prenen dades d'espècie arbòria, tipus de cavitat, diàmetre de l'arbre a l'alçada del pit (DBH), alçada de l'arbre i de la cavitat, estat del tronc,

percentatge d'escorça, distància a arbre de igual o major diàmetre més proper, orientació de la cavitat, pendent i finalment s'agafaven les coordenades mitjançant l'aplicació ZamiaDroid i es feia una foto de la cavitat per, en cas de dubte, poder comprovar posteriorment l'origen de la cavitat (annex B). Finalment, per a les caixes niu també se seguia el mateix procediment que amb les cavitats.

Paral·lelament, durant el transecte es van comptabilitzar el nombre d'arbres morts en peu amb DBH>25 cm, el nombre d'arbres amb forats de picot no cavitat i el nombre de cavitats en troncs caiguts.

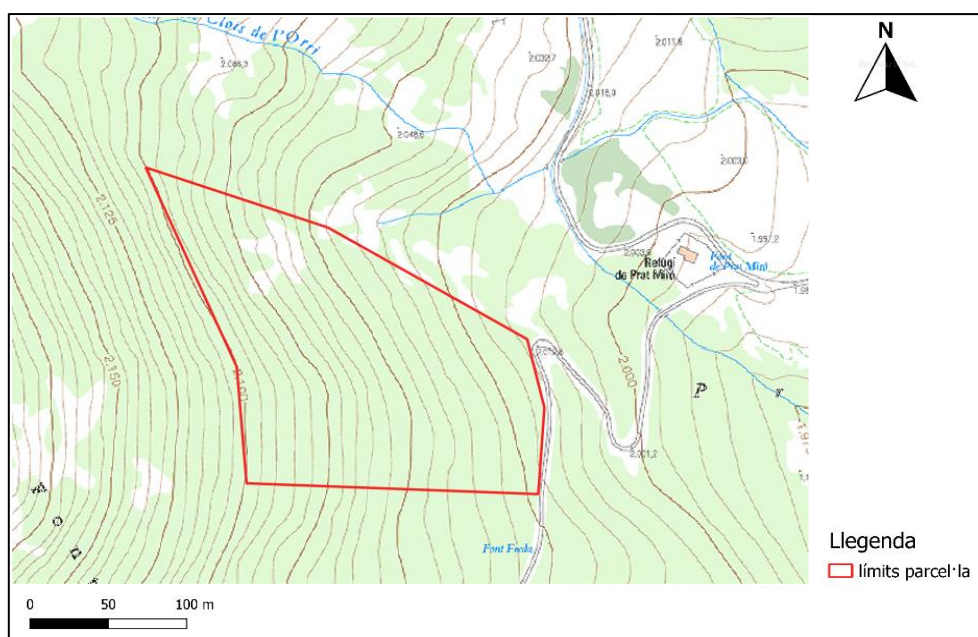


Figura 3: Exemple de parcel·la mostrejada (vermell) en territori de mussol pirinenc. Font: adaptat del mapa topogràfic 1:25000 de l'ICGC.

3.3 Estudi de la utilització de les caixes niu

Amb l'objectiu de conèixer l'ús que fa el mussol pirinenc sobre les caixes niu, s'han analitzat dades de reproduccions i ocupacions de les caixes niu presents en els territoris estudiats durant el període 2005-2019. Durant aquest període, Lutra, Associació Mediambiental, va duu a terme el *Projecte Aegolius* (Projecte d'estudi i seguiment del mussol pirinenc) amb el qual va realitzar el seguiment de l'espècie a la zona d'estudi (Alt Urgell, Cerdanya i Ripollès). Es realitzaven escoltes nocturnes i de matinada durant l'època de reclam del mascle (de desembre a març) en busca de nous territoris i/o confirmació dels territoris ja coneguts. A més en els territoris coneguts s'han anat

controlant les caixes-niu existents i les cavitats més utilitzades i conegudes (les cavitats només fins el 2010) durant el període d'incubació i naixement dels polls (d'abril a juliol), amb la fi de trobar nius i evidències de reproducció.

A partir d'aquestes dades s'ha relacionat la utilització de les caixes (nombre de reproduccions) en funció de la disponibilitat de cavitats presents en els territoris (vegeu apartat 3.2). Per al període 2005-2010, amb l'excepció del 2009 en el qual no s'ha pogut accedir a les dades, s'han utilitzat tant les ocupacions de cavitats com de caixa-niu. Per a l'anàlisi del període 2005-2019 només s'han utilitzat les reproduccions de caixa niu per falta de dades en la utilització de cavitats. En aquest darrer anàlisi també s'hi ha exclòs les ocupacions de caixa sense èxit reproductiu d'entre els anys 2005-2010 per tal d'obtenir unes dades més homogènies de tot el període. Cal afegir que no hi ha dades dels anys 2012-2013, ja que van ser anys dolents per a la reproducció del mussol a l'àrea d'estudi (D. Potrony, com. pers.).

3.4 Estudi a escala de territori

Per tal de relacionar la disponibilitat de cavitats i arbres niu amb l'estructura forestal i grau de maduresa dels territoris, s'han utilitzat les capes de variables biofísiques de l'arbrat de Catalunya. Aquestes, són capes ràster extretes a partir de dades LiDAR amb píxels d'una resolució de 20 m, generades a partir de dades de l'any 2005 (ICGC, 2020).

Per a cada variable s'ha calculat el valor mitjà dels píxels inclosos dintre cada polígon/territori mostrejat mitjançant l'eina "Zonal Stastics" del programa Qgis (taula 1).

Taula 1: Variables d'estructura forestal, i els seus acrònims, utilitzades per a l'estudi a escala de territori.

VARIABLE	DESCRIPCIÓ
HMITJANA	Alçada mitjana dels arbres (m).
AB	Àrea basimètrica o àrea basal (m ² /ha).
FCC	Fracció de cabuda coberta (%).
DBHM	Diàmetre normal mitjà a l'alçada del pit (Diameter at Breast Height) (cm)
AM	Densitat d'arbres morts amb DBH>25 cm (n ^o /ha)

Segons el Manual de gestió d'hàbitats: Les pinedes de pi negre (2012), s'utilitzen 3 criteris per avaluar el grau de maduresa d'aquests boscos: l'àrea basal, l'estructura de diàmetres i la fusta morta. Per a l'estructura de diàmetres seria adient tenir una classificació dels peus/hectàrea de cada classe diamètrica, però per manca d'aquesta informació s'utilitza la DBHm del rodal ja que aquest valor és indicatiu de la presència d'arbres grossos i de pocs peus petits. Pel que fa a l'AB i l'AM, les estructures madures tenen alts valors d'ambdues variables (annex C).

D'altra banda l'alçada dominant també és un indicador de qualitat de l'estació, així que una alçada mitjana alta indica una dominància dels peus grans.

3.5 Anàlisi de dades

Per a la caracterització dels arbres niu s'han classificat les cavitats segons espècie excavadora o cavitat natural, i mitjançant el programa *Microsoft Office Excel* s'han calculat els valors mitjos de cada variable a nivell d'arbre niu.

Mitjanant el programa *R* (R core team, 2020) s'han realitzat diferents models estadístics per tal d'avaluar la influència de les variables d'estructura forestal (variables independents) sobre la disponibilitat de cavitats total i de cada espècie (variables dependents), considerant un resultat estadísticament significatiu quan el p-valor és inferior a 0.05.

Inicialment s'han dut a terme testos de correlació de *Spearman* entre les variables dependents i independents per comprovar si hi ha colinearitat entre variables (Graham, 2003; Schober et al., 2018), considerant-se correlació positiva els valors >0.7 . L'anàlisi ha mostrat una correlació positiva entre les variables dependents nombre de cavitats i nombre d'arbres niu (p-valor=5.858E-6, corr=0.939). D'entre les variables independents: Àrea basal (AB) està correlacionada amb la Fracció de cabuda coberta (FCC) (p-valor=7.719E-4, corr=0.853) i el diàmetre mitjà a l'alçada del pit (DBHm) amb l'alçada mitjana dels arbres (Hmit) (p-valor=2.746E-3, corr=0.804) (taula 2). S'ha decidit realitzar els models utilitzant com a variable resposta el nombre d'arbres niu i com a variables predictoras AB, DBHm i AM ja que són les que millor determinen el grau de maduresa del bosc (Diputació de Barcelona, 2012). Els models exclosos amb les variables Hmit i FCC es

mostren a l'annex D. Cal afegir que, els models amb la variable AM s'han realitzat eliminant les dades d'un territori degut a la excessiva densitat d'arbres morts en peu i a la baixa aptitud d'aquests a ser utilitzats pels pícids com a arbres niu.

Taula 2: Matriu de correlacions de Spearman entre les variables independents, d'estructura forestal. Les abreviacions s'especifiquen a la taula 1.

COR	AB	Hmit	DBHm	FCC	AM
AB	1	0.594	0.182	0.853	0.371
Hmit	0.594	1	0.804	0.196	0.343
DBHm	0.182	0.804	1	-0.259	0.049
FCC	0.853	0.196	-0.259	1	0.203
AM	0.371	0.343	0.049	0.203	1

A partí d'aquí s'han realitzat Models Lineals (LM) amb la fi d'obtenir relacions entre la disponibilitat de cavitats i l'estructura del bosc. Per a aquests models s'ha assumit normalitat de les dades comprovada a partir dels tests *Shapiro-Wilk*. En el cas de la variable cavitats de picot negre (*D. martius*), s'ha utilitzat un Model Lineal Generalitzat (GLM) amb distribució de Poisson per adequar-se a la distribució de les dades (McCullagh & Nelder, 2018; Warton et al., 2016). Les variables dependents de cavitats de picot verd i cavitats naturals s'han exclòs dels models estadístics degut al baix volum de dades.

Per relacionar l'ocupabilitat de les caixes niu segons la disponibilitat de cavitats, s'han classificat els 12 territoris en 3 categories tenint en compte la disponibilitat total de cavitats i la disponibilitat de cavitats de picot negre, ja que aquestes són les més utilitzades per a l'espècie (Joveniaux & Durand, 1987). A la classificació s'han considerat 4 territoris amb disponibilitat alta, 4 territoris amb disponibilitat mitja i 4 territoris amb disponibilitat baixa. Un dels territoris amb disponibilitat mitja s'ha exclòs de l'anàlisi degut a l'absència de caixes-niu. Posteriorment, s'ha realitzat un GLM amb distribució de Poisson utilitzant les ocupacions de caixes niu com a variable resposta i la disponibilitat de cavitats com a variable predictora.

Finalment en tots els models es van realitzar gràfics de diagnosi per comprovar la normalitat i la homoscedasticitat de les dades.

4 Resultats

En total s'han identificat 64 arbres niu i 104 cavitats, és a dir una densitat mitjana de 1,1 arbres niu i 1,7 cavitats per hectàrea (mínim de 0 i màxim de 4,2). Tots els arbres niu corresponen a l'espècie pi negre (*Pinus uncinata*) excepte un arbre niu amb cavitat de picot garser gros (*Dendrocopos major*) excavada en un avet (*Abies alba*). Les cavitats que més abunden són les de picot garser gros (n=62), les quals són presents en el 83,3% dels territoris mostrejats, seguit de les de picot

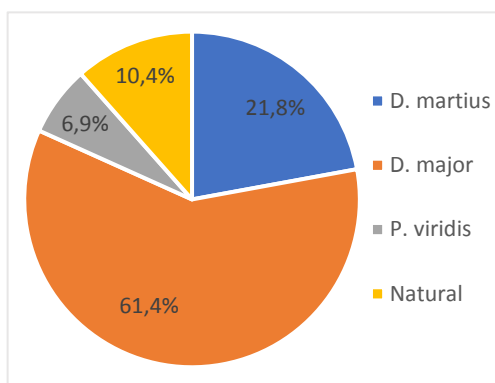


Figura 4: Percentatge de cada tipus de cavitat respecte el total de cavitats identificades.

negre (n=23) (*Dryocopus martius*) presents al 50% dels territoris. Per altra banda les cavitats menys abundants són les de picot verd (n=7) i les cavitats d'origen natural (n=12), ambdues presents només al 50% dels territoris mostrejats (Figures 4 i 5).

A més també s'han identificat un total de 32 cavitats en arbres caiguts (18 arbres niu diferents), 4 de les quals de picot negre, 2 de picot verd i la resta de picot garser gros. Per tant la densitat de cavitats antigues ja no aptes a ser ocupades pel mussol és de 0,5 cavitats per hectàrea. També es van trobar 92 arbres amb intents de cavitats per part de picots. Aquests arbres contenen un o varis forats de picot sense tenir la cubeta acabada.

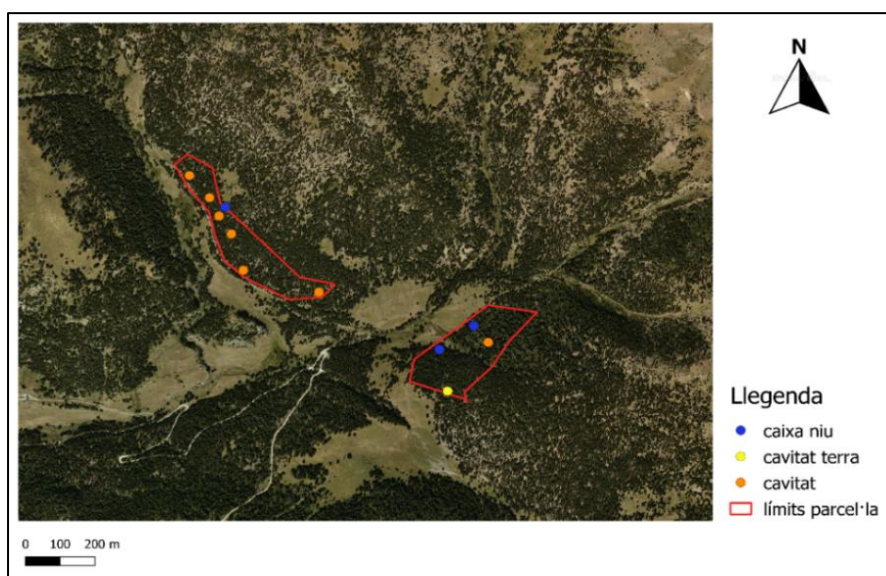


Figura 5: Distribució de les cavitats (punts taronges), caixes niu (punts blaus) i cavitats a terra (punts grocs) en dos dels territoris mostrejats delimitats per les línies vermelles. Font: Adaptat de l'ortofotomapa de l'ICGC.

4.1 Característiques dels arbres niu

4.1.1 Picot garser gros (*Dendrocopos major*)

El 98,34% de les cavitats de picot garser gros (n= 62) estan excavades en pi negre, essent l'1,66% restant en avet. No s'ha observat una clara preferència cap a peus vius o morts, ja que el 48,48% dels arbres niu seleccionats per l'espècie són arbres vitals o decrepits (estats 1 i 2, vegeu annex E), mentre que la resta són peus morts (Figura 6). Cal dir que els arbres de tipus 2 i 3 acumulen el 63,36% de la mostra, és a dir l'últim estadi abans de la mort (2, decrepit) i el primer estadi després de la mort (3). El 51,52% dels arbres utilitzats pel picot garser mantenen un percentatge d'escorça al tronc superior al 80% (Figura 7).

Els arbres niu seleccionats (n=33) són peus amb una alçada mitjana de $9,52 \pm 3,65$ m d'alçada (H) i un diàmetre mitjà a l'alçada del pit (DBH) de $42,36 \pm 10,65$ cm, essent els arbres de classe diamètrica 35-45 els més utilitzats (48,48%) (Figura 8). Els arbres s'ubiquen en pendents de $23,39 \pm 10,42\%$, i a una distància de $7,39 \pm 5,39$ m de l'arbre de d'igual o major classe diamètrica més proper (taula 3).

Els arbres amb cavitats de picot garser gros tenen de mitjana 1,88 cavitats de l'espècie, amb un màxim de 6 cavitats diferents per arbre i assolint unes densitats de 1,00 cavitats per hectàrea. Aquestes cavitats es troben a $3,99 \pm 1,65$ m d'alçada i majoritàriament no s'orienten a favor del pendent (76,67%) (annex F).

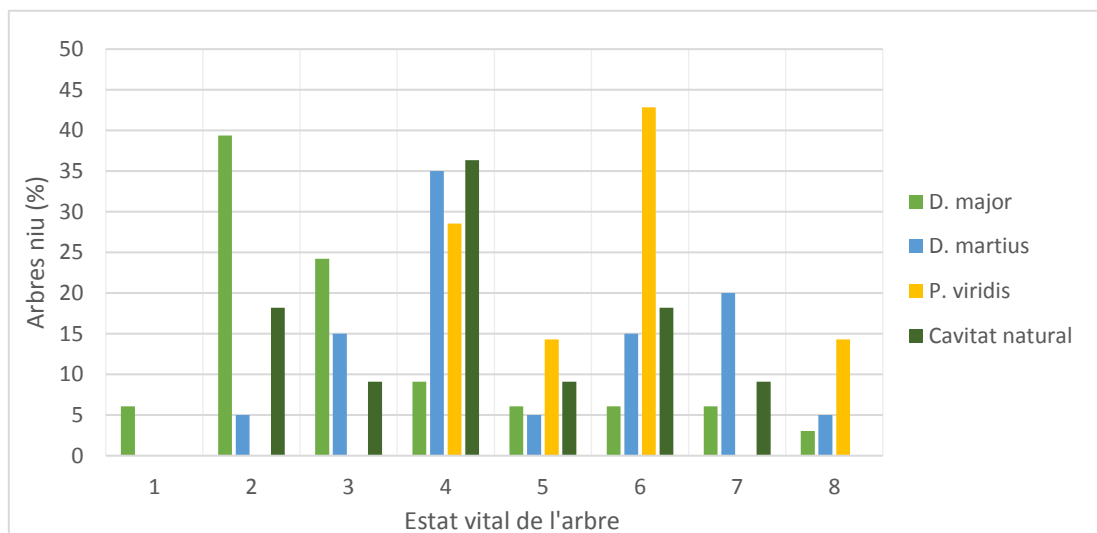


Figura 6: Classificació dels arbres niu amb cavitats de picot garser gros (N=62) (verd clar), picot negre (N=23) (blau), picot verd (N=7) (groc) i cavitats naturals (N=12) (verd fosc) segons l'estat vital de l'arbre.

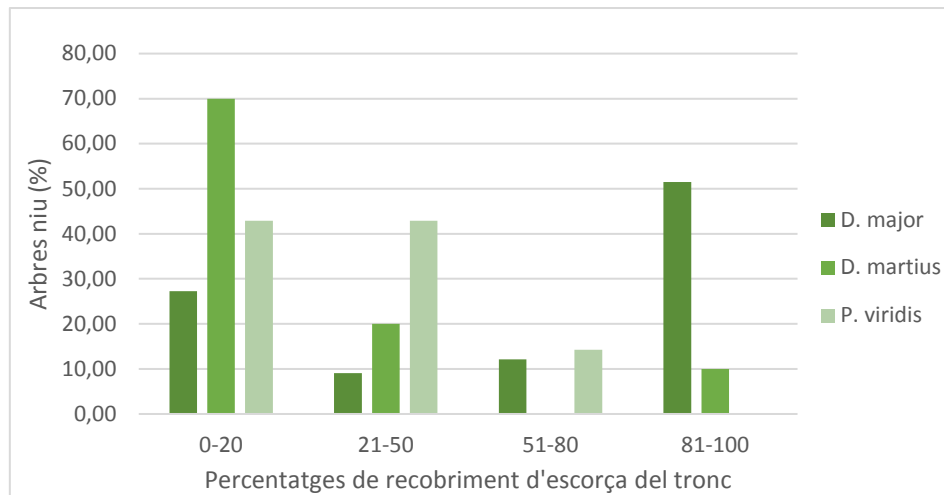


Figura 7: Classificació dels arbres niu amb cavitats de picot garser gros (N=62), picot negre (N=23) i picot verd (N=7) segons el recobriments d'escorça del tronc.

4.1.2 Picot negre (*Dryocopus martius*)

La totalitat dels arbres niu seleccionats pel picot negre (n=20) corresponen a pi negre, amb una clara preferència cap als peus morts (95%), fet que coincideix amb què el 70% dels peus seleccionats presenten menys del 20% d'escorça al tronc (figures 6 i 7). En aquest cas els arbres tenen $38,85 \pm 5,20$ cm de DBH i una alçada mitjana de $10,14 \pm 4,38$ m. Com el picot garser, la major part dels arbres niu pertanyen a la classe diamètrica 35-45 (65%) (figura 8).

El 90% dels arbres amb cavitats de picot negre contenen una única cavitat excavada per aquesta espècie, i les cavitats se situen a $5,98 \pm 2,12$ m d'alçada (n=23), essent el 47,83% entre 4 i 7 m d'alçada (figura 9). Cal dir que el 26% de les cavitats de l'espècie detectades eren trencades i/o amb més d'una obertura, és a dir que corresponen a cavitats antigues on l'entrada principal s'havia modificat per decaïment del propi arbre. Els arbres s'ubiquen en pendents de $22,84 \pm 7,40\%$ i a una distància de mitjana de $8,15 \pm 5,4$ m de l'arbre d'igual o major classe diamètrica més proper (taula 3), (annex F).

La densitat de cavitats de picot negre en els territoris de mussol pirinenc és de 0,4 cavitats per hectàrea.

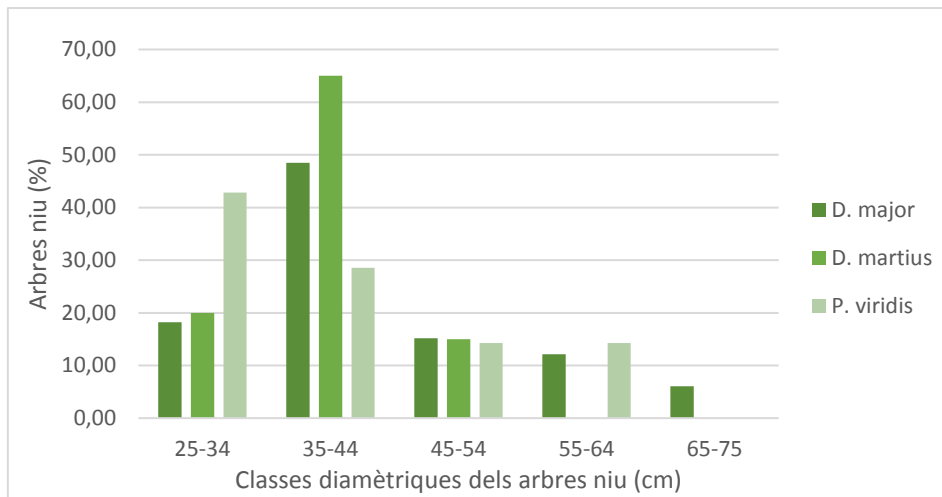


Figura 8: Classificació dels arbres niu amb cavitats de picot garser gros (N=62), picot negre (N=23) i picot verd (N=7) segons la classe diamètrica de l'arbre (DBHm).

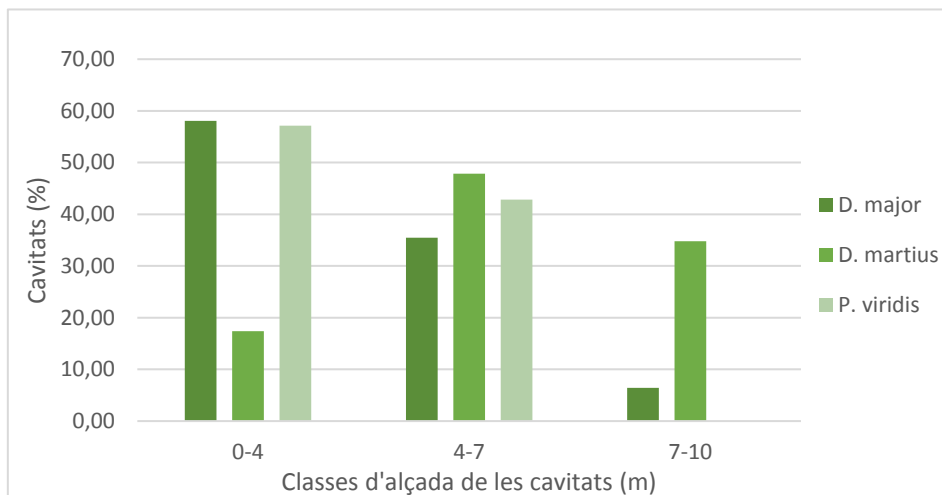


Figura 9: Classificació dels arbres niu amb cavitats de picot garser gros (N=62), picot negre (N=23) i picot verd (N=7) segons la classe d'alçada de l'arbre.

4.1.3 Picot verd (*Picus viridis*)

Les cavitats de picot verd són les menys abundants excavades per pícids en els boscos subalpins, amb només 7 cavitats en el conjunt dels 12 territoris mostrejats. Tot i el nombre reduït de cavitats, totes elles es troben en peus morts i en avançat estat de descomposició (tipus 5 o major), és a dir en estaqués gairebé sense branques i amb l'extrem trencat (vegeu Annex F). Aquest fet condiciona que l'alçada dels arbres utilitzats sigui de només 6,66 m, que l'alçada mitjana dels forats sigui de 3,63 m i que gairebé totes les cavitats estiguin orientades a favor del pendent (Taula 3).

La densitat de cavitats de picot verd és gairebé residual, obtenint un valor de 0,1 cavitats per hectàrea.

4.1.4 Cavitats naturals

Les cavitats naturals només suposen l'11,5% de la totalitat de cavitats disponibles per al mussol pirinenc. En total es van identificar 12 cavitats naturals, totes elles en pi negre. El 83,33% en peus morts mentre que la resta en arbres decrepits de tipus 2 (annex F).

Els arbres tenen DBH molt variables ($49,55 \pm 16,96$ cm) i una alçada mitjana de $7,60 \pm 2,92$ m. L'alçada de les cavitats també és molt variable ($3,89 \pm 2,39$ m) (Taula 3).

La densitat de cavitats naturals en les àrees mostrejades és de 0,2 cavitats per hectàrea.

Taula 3: Resum dels paràmetres dels arbres niu dels diferents tipus de cavitats: picot garser gros (N=34), picot negre (N=21), picot verd (N=7), natural (N=12). Els valors representen la mitjana i la desviació estàndard.

Característiques	<i>D. major</i>	<i>D. martius</i>	<i>P. viridis</i>	Natural
DBHm (cm)	$42,36 \pm 10,65$	$38,85 \pm 5,20$	$40,29 \pm 11,51$	$49,17 \pm 16,96$
H arbre (m)	$9,52 \pm 3,65$	$10,14 \pm 4,38$	$6,66 \pm 3,65$	$7,60 \pm 2,92$
H cavitat (m)	$3,99 \pm 1,65$	$5,98 \pm 2,12$	$3,63 \pm 1,49$	$3,89 \pm 2,39$
Dsit. Arbre (m)	$7,39 \pm 5,39$	$8,15 \pm 5,40$	$6,71 \pm 5,96$	$9,59 \pm 5,87$
Estat vital	$3,27 \pm 1,81$	$4,9 \pm 1,71$	$5,57 \pm 1,40$	$4,27 \pm 1,62$
Escorça (%)	$65,30 \pm 39,99$	$18,75 \pm 27,42$	$28,57 \pm 20,35$	$45,45 \pm 37,51$
Pendent (%)	$23,39 \pm 10,42$	$22,84 \pm 7,40$	$20,36 \pm 13,36$	$25,45 \pm 11,50$

4.1.5 Caixes niu

A banda de les cavitats, en el conjunt dels territoris s'han trobat 23 caixes niu per a mussol pirinenc, és a dir una mitjana de 1,9 caixes per territori amb un màxim de 5 i un mínim de 0. El valor mitjà de caixes niu és de 2,25 en els territoris amb alta i baixa disponibilitat de cavitats mentre que és de 1,67 en els territoris amb disponibilitat mitja, entre els hi ha un territori menys. Les caixes niu corresponen a 4 tipus diferents, totes elles dissenyades per ser ocupades per a l'espècie (vegeu també, López et al., 2010) (annex G).

4.2 Ocupabilitat de les caixes niu

Durant els anys 2005-2010 es van comptabilitzar 20 nius de mussol pirinenc en els territoris d'estudi, 7 dels quals en caixa-niu i 13 en cavitat excavada per picot negre. A la figura 10 es pot observar com en els territoris amb baixa disponibilitat de cavitats, totes les reproduccions presents s'han donat en caixa niu (4), mentre que en els territoris amb una alta disponibilitat de cavitats, totes les reproduccions s'han donat en cavitat (9). En els territoris amb una disponibilitat mitjana de cavitats no s'observen diferències entre l'ocupació de caixes-niu i cavitats, amb 3 i 4 reproduccions respectivament. Durant aquest període hi va haver reproduccions en cavitat en el 54,55% dels territoris i en caixa niu en el 45,45% dels territoris (N=11), i en només en un dels casos s'ha observat la utilització de cavitat i de caixa-niu.

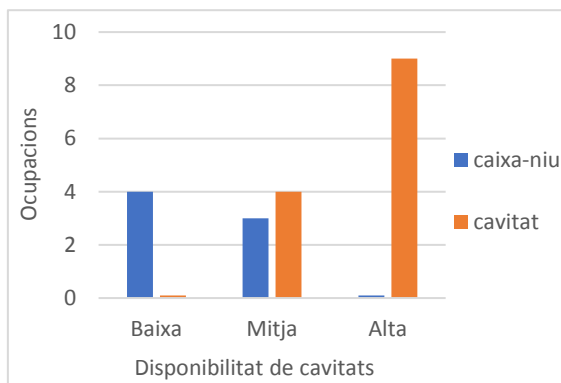


Figura 10: Ocupacions en caixes niu i cavitats durant el període 05-10 en els 12 territoris estudiats, classificats segons la disponibilitat de cavitats (N=20).

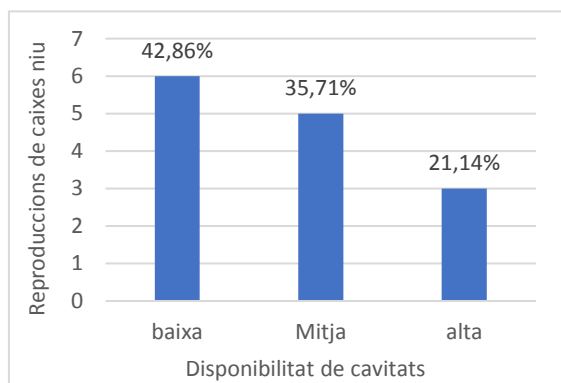


Figura 11: Reproduccions en caixes niu durant el període 05-19 en 11 dels territoris estudiats, classificats segons la disponibilitat de cavitats (N=14).

En el conjunt del període 2005-2019 s'han comptabilitzat 14 reproduccions exitoses en caixa-niu (11 territoris). Aquestes es distribueixen de manera desigual en els territoris, de manera que els territoris amb baixa disponibilitat de cavitats, contenen el 42,86% de la mostra, mentre que els territoris amb bona disponibilitat de cavitats només el 21,14% (figura 11). El model realitzat indica una relació negativa residualment no significativa entre la utilització de les caixes niu i la disponibilitat de cavitats (p-valor = 0,067).

4.3 Relació de la disponibilitat de cavitats amb l'estructura forestal

4.3.1 Relació amb la disponibilitat total d'arbres niu

La disponibilitat total d'arbres niu manté unes relacions positives amb les variables d'estructura forestal d'Àrea Basal (AB), Diàmetre normal mitjà a l'alçada del pit (DBHm) i Densitat de fusta morta en peu (AM) (figura 12) Si bé aquestes relacions només són significatives amb les variables DBHm i AM, amb uns p-valors de $1.71E-3$ i $5.12E-3$ respectivament (vegeu taula 4).

Les majors abundàncies d'arbres niu corresponen als territoris amb un Diàmetre normal mitjà per sobre dels 34 cm, i amb unes densitats a partir de 16,5 arbres morts per hectàrea.

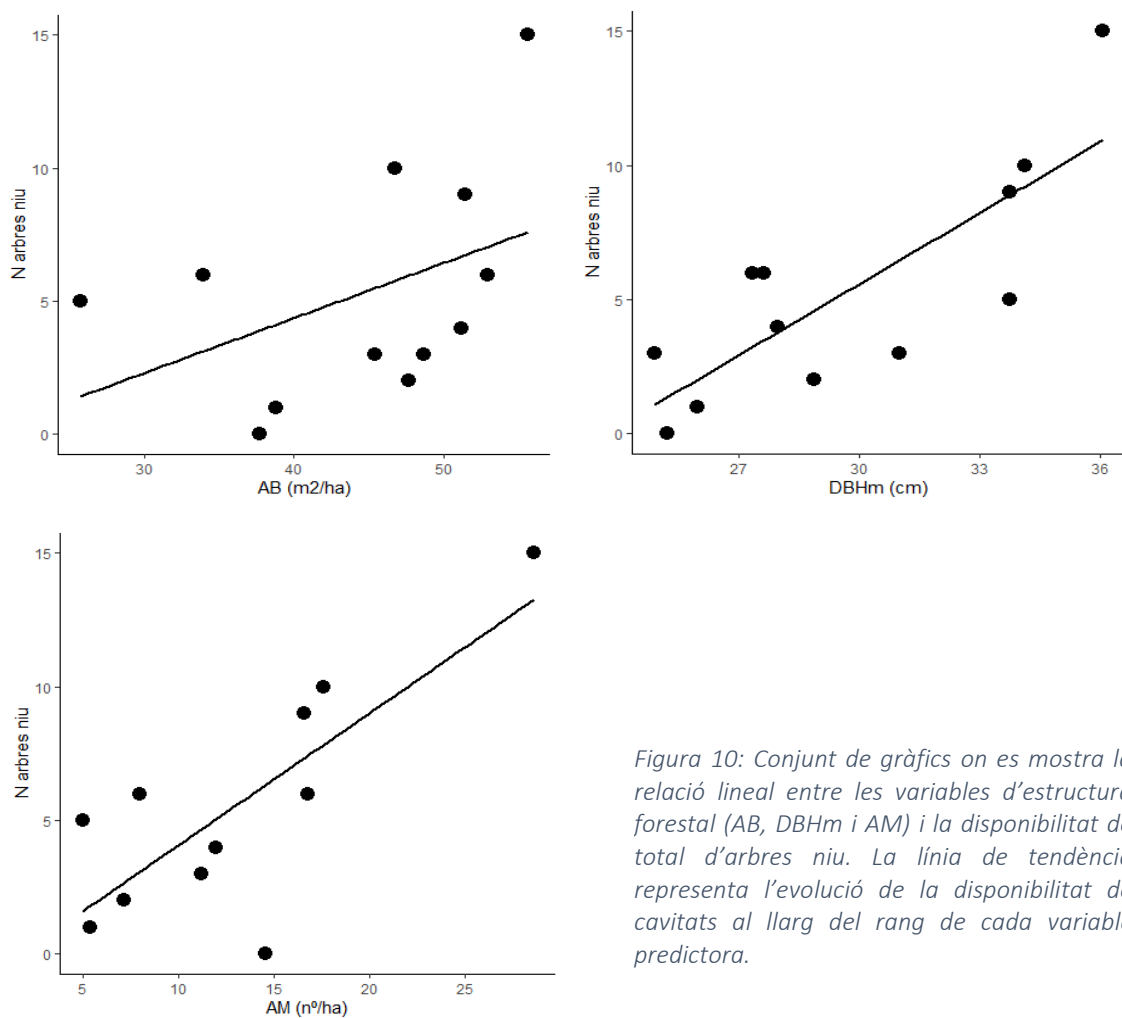


Figura 10: Conjunt de gràfics on es mostra la relació lineal entre les variables d'estructura forestal (AB, DBHm i AM) i la disponibilitat de total d'arbres niu. La línia de tendència representa l'evolució de la disponibilitat de cavitats al llarg del rang de cada variable predictora.

4.3.2 Relació amb la disponibilitat de cavitats de picot garser gros

A la figura 13 es pot observar una relació positiva entre les variables d'estructura forestal i l'abundància de cavitats de picot garser gros, tot i que l'única de les variables que determina significativament aquesta abundància és la DBHm amb un p-valor de 0.024 (taula 4).

Els territoris amb 9 o més cavitats de picot garser gros també corresponen als territoris amb un diàmetre normal mitjà superior a 34 cm. Per contra en la majoria de territoris amb un diàmetre mitjà igual o inferior a 27,5 cm, la disponibilitat de cavitats d'aquesta espècie és molt baixa.

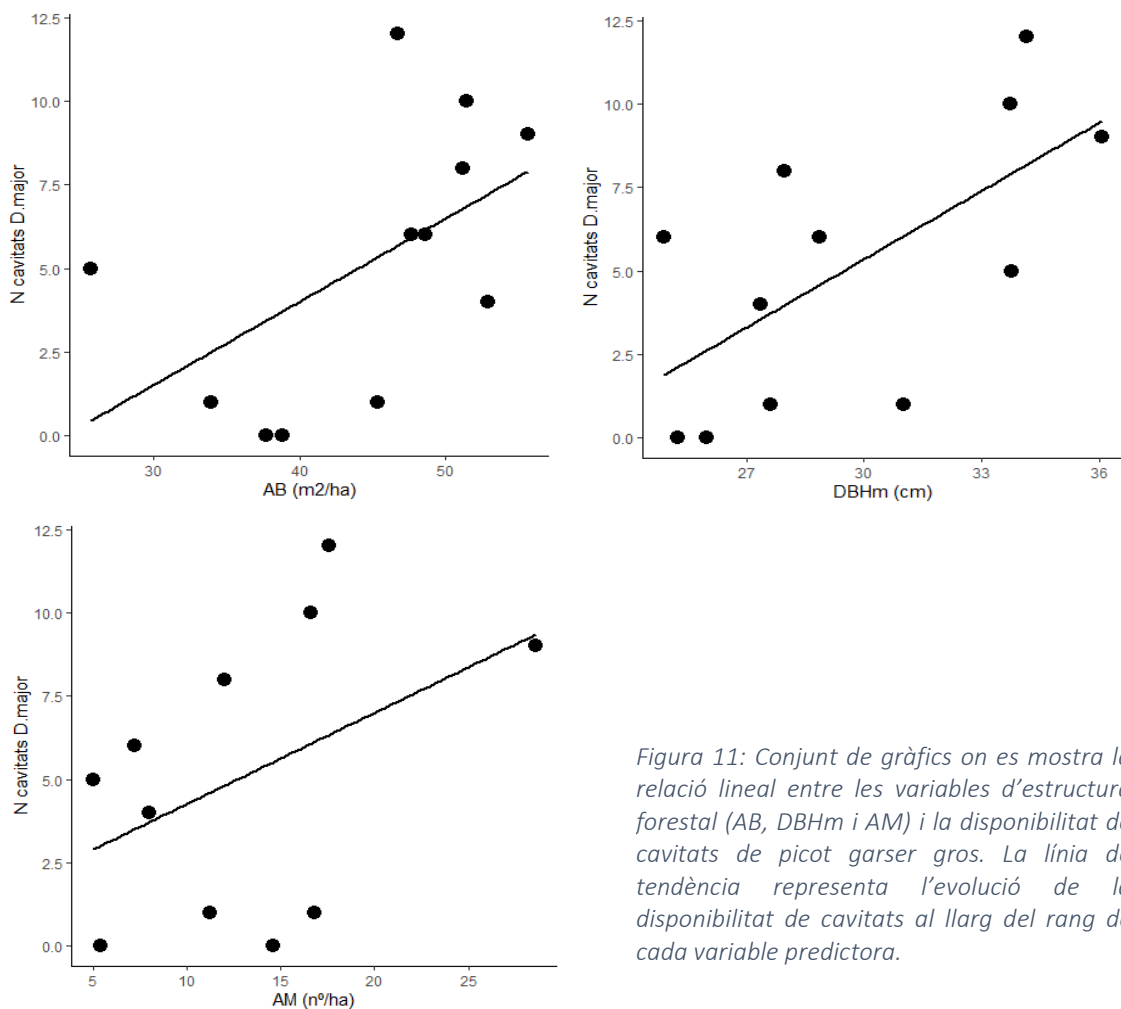


Figura 11: Conjunt de gràfics on es mostra la relació lineal entre les variables d'estructura forestal (AB, DBHm i AM) i la disponibilitat de cavitats de picot garser gros. La línia de tendència representa l'evolució de la disponibilitat de cavitats al llarg del rang de cada variable predictora.

4.3.3 Relació amb la disponibilitat de cavitats de picot negre

Les cavitats de picot negre pràcticament només són presents en boscos amb un DBHm superior a 30 i una AM superior als 16 (figura 14), mostrant relacions significativament positives amb aquestes variables (p -valor=1.46E-5 i p -valor=4.14E-3). La disponibilitat de cavitats d'aquesta espècie també està significativament relacionada amb l'Àrea basal del rodal (p -valor=0,038). Tot i així, la variable d'estructura forestal que més influeix sobre la presència de cavitats de picot negre és el diàmetre mitjà a l'alçada del pit (AIC DBHm=40,648) (taula 4).

A la figura 14 s'observa com la majoria de territoris contenen entre 0 i 4 cavitats de picot negre, mentre que un territori conté 11 cavitats, coincidint aquest, amb els valors més elevats d'AB, DBH, i AM.

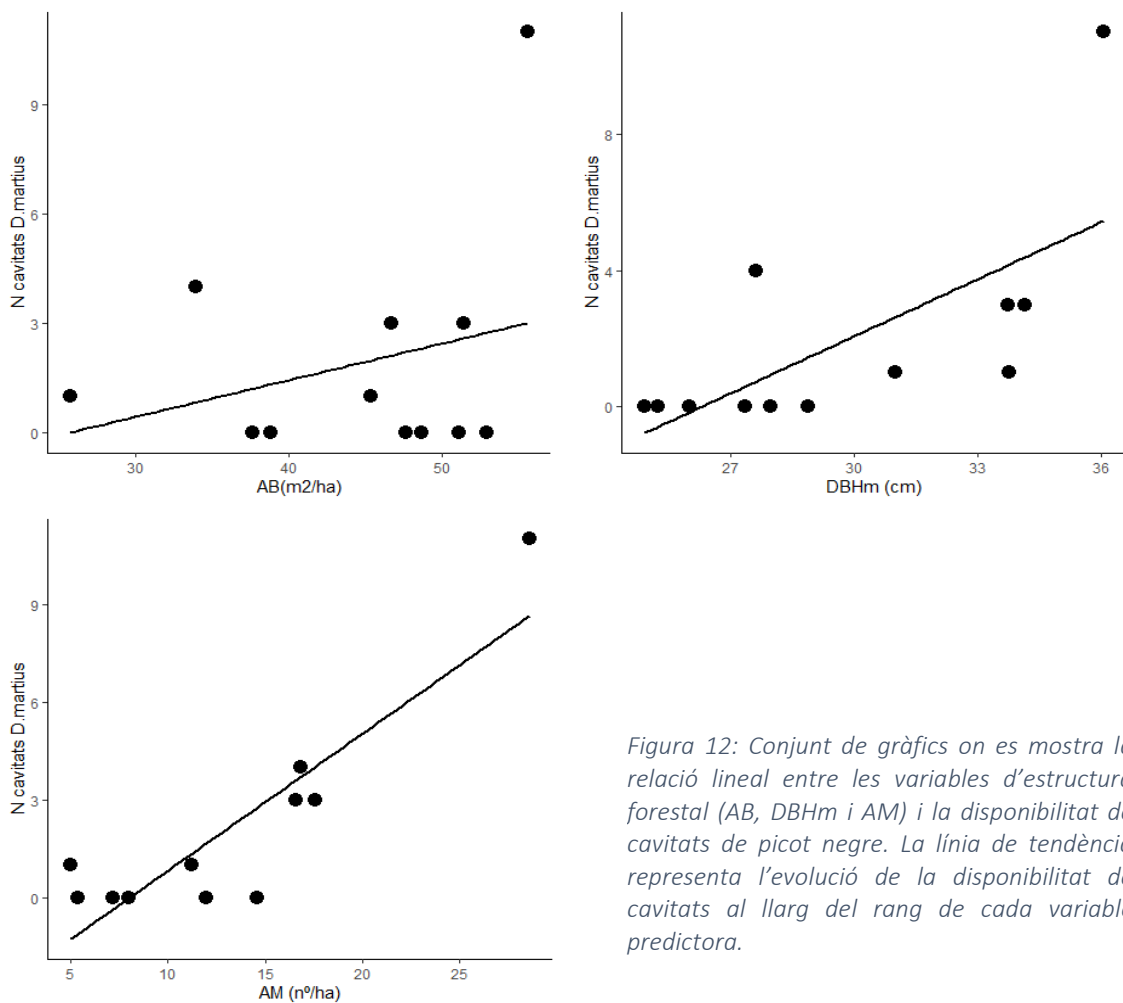


Figura 12: Conjunt de gràfics on es mostra la relació lineal entre les variables d'estructura forestal (AB, DBHm i AM) i la disponibilitat de cavitats de picot negre. La línia de tendència representa l'evolució de la disponibilitat de cavitats al llarg del rang de cada variable predictora.

Taula 4: Resum del conjunt de Models lineals (LM) i Models Lineals Generalitzats (GLM), on s'avalua la relació entre les variables d'estructura forestal i la disponibilitat total d'arbres niu i de dues espècies de pícids: picot garser gros i picot negre (N=12). Els valors en negreta indiquen resultats significatius (p-valor < 0,05).

TOTALS (N arbres niu)				
Var. independent	Coefi	Desv. estàndard	P-valor	Pseudo-R2
AM	0.49	0.134	5.12E-3	0.55
AB	0.20	0.138	0.164	0.164
DBHm	0.88	0.2087	1.71E-3	0.607
<i>Dendrocopos major</i>				
Var. independent	Coefi	Desv. estàndard	P-valor	Pseudo-R2
AM	0.27	0.185	0.174	0.106
AB	0.24	0.123	0.071	0.219
DBHm	0.68	0.255	0.024	0.357
<i>Dryocopus martius</i>				
Var. independent	Coefi	Desv. estàndard	P-valor	AIC
AM	0.04	0.016	4.14E-3	61.413
AB	0.06	0.033	0.038	63.283
DBHm	0.34	0.079	1.46E-5	40.648

5 Discussió

La importància de la presència de cavitats en els territoris ocupats per mussol pirinenc ha estat àmpliament demostrada (Hayward et al., 1993; Joveniaux & Durand, 1987; Mariné & Dalmau, 2000), descrivint-se a més, com al factor que més pot limitar la presència de l'espècie. Els resultats d'aquest estudi mostren unes baixes densitats de cavitats potencialment utilitzables per al mussol pirinenc (1,7 cav/ha) en les pinedes de pi negre ocupades per a l'espècie a la vessant sud dels Pirineus orientals. Si es té en compte el nombre d'arbres amb cavitats, la xifra disminueix fins als 1,1 arbres/ha. Aquests, són valors molt inferiors als trobats en boscos mixtos d'abet i faig de la vessant Atlàntica dels Pirineus, on s'assoleixen densitats d'entre 11 i 18 arbres amb cavitats en menys d'una hectàrea (Auria, 2013), així com també en comparació amb Andorra, on Mariné i Dalmau (2000), van trobar unes abundàncies mitjanes de 5 cavitats en parcel·les de 0,5 ha (N=14) habitades pel mussol en pinedes de pi negre. Cal tenir en compte que les cavitats de picot es distribueixen en agregats al bosc, i que per tant les densitats no són homogènies en els territoris (Joveniaux & Durand, 1987). Els mostrejos d'Auria (2013) i Mariné i Dalmau (2000) difereixen del present estudi pel fet que només es van comptabilitzar les cavitats de parcel·les més petites al voltant dels arbres niu, i per tant, probablement la densitat de cavitats per hectàrea estigui sobreestimada en comparació a la metodologia emprada aquí. Tot i això, aquestes altes quantitats de cavitats en rodals petits, només s'han observat en 3 dels territoris mostrejats, resultat indicador que la resta de boscos estudiats tenen una qualitat inferior a l'esperada en termes de cavitats.

A nivell de territori, l'àrea de reproducció del mussol (*corea area*) s'estima al voltant de les 7,6 ha (Hayward et al., 1993), és a dir que a la zones d'estudi s'estimaria una disponibilitat mitjana de 2,55 cavitats per territori. Tenint en compte que els mussols prefereixen canviar de cavitat cada temporada per evitar paràsits i depredacions per part de la marta i la fagina (Korpimaki, 1984; Sonreud, 1985), la disponibilitat per canviar de cavitat és molt limitada, fet que explicaria l'alta taxa de predació que López i altres (2010) van observar a les zones d'estudi.

A gran part d'Europa, la majoria de nius de mussol pirinenc s'ubiquen en cavitats de picot negre (Auria, 2013, 2017; Joveniaux & Durand, 1987; Mikkola, 1983; Ravussin et al.,

2001), fet que també succeeix en hàbitats molt semblants als estudiats, com a Andorra, on també s'hi ha observat una utilització majoritària de nius d'aquesta espècie 55,5% (Dalmau et al., 2006, citat per Baucells, 2010). Aquestes cavitats s'ajusten a les necessitats espacials del mussol, amb un diàmetre que permet l'entrada i sortida sense dificultats i unes dimensions de la cubeta adequades per a la incubació i el creixement dels polls (vegeu annexes A i F). Tot i aquestes preferències i contràriament al que s'esperava, les cavitats de picot negre només representen el 21,8% de les cavitats disponibles per al mussol i són absents en la meitat dels territoris estudiats.

Als Pirineus Atlàntics i a bona part dels països centre europeus com França, Itàlia i Polònia, els picots negres utilitzen majoritàriament faigs per a excavar els seus nius (Bocca et al., 2007; Grangé et al., 2010; Kosinski & Kempa, 2007; Puverel et al., 2019). En aquestes indrets els arbres niu són vius, molt alts (>25 m) i amb diàmetres superiors als 50 cm, on les cavitats se situen entre 12 i 13 m d'alçada. Per altra banda en els països nòrdics utilitzen majoritàriament trèmols (*Populus tremula*), que generalment són més baixos que els faigs, però també assoleixen uns bons diàmetres i unes altures suficients com per ser seleccionats pel picot negre (Hagvar et al., 1990; Rostald et al., 2000). Si bé a Catalunya també habita en fagedes, l'hàbitat més seleccionat pel picot negre són les pinedes de pi negre (Camprodon et al., 2007, 2008). En els territoris estudiats, les característiques arbòries no coincideixen amb les d'altres hàbitats, ja que totes les cavitats s'emplacen en pins negres morts, i d'uns diàmetres i altures molt inferiors als utilitzats en altres tipus de bosc (38,85 cm i 10,14 m respectivament). Aquestes diferències es deuen a que les pinedes de pi negre es distribueixen en altituds elevades i pendents pronunciades, on els pins rarament superen els 20 m d'alçada, i sovint presenten branques des de la base que dificulten l'excavació de cavitats per part dels picots, així com també degut a l'impediment d'arribar a estadis més alts de maduresa degut a l'explotació forestal (Diputació de Barcelona, 2012; Mariné et al., 2004, 2007). Cal afegir que un percentatge molt alt de les cavitats de picot negre a la zona d'estudi estan esquerdades o en mal estat, fet que juntament amb la presència d'antigues cavitats en arbres caiguts, confirma d'acord amb Martínez-Vidal, 2001 citat per Camprodon et al., 2007, la baixa taxa de generació de cavitats d'aquesta espècie que es dona en les pinedes de pi negre per falta d'arbres propicis.

La major part de les cavitats disponibles per al mussol pirinenc són cavitats excavades per picot garser gros, resultat poc sorprenent tenint en compte la capacitat d'aquesta espècie per viure a una gran varietat d'hàbitats, i als menors requeriments en termes de mida arbòria en comparació amb el picot negre (Camprodon et al., 2007; Hagvar et al., 1990). No obstant això, s'ha observat que els arbres utilitzats pel picot garser gros tenen diàmetre normals mitjans a l'altura del pit lleugerament més grans que els utilitzats pel picot negre. Cal dir que els arbres utilitzats pel picot garser gros són peus vius i sovint amb bifurcacions properes a la base, mentre que les cavitats de picot negre s'han trobat en peus morts, alts i de tipologia rectilínia (annex H).

Les cavitats de picot garser gros s'han descrit com a aptes per al mussol, arribant a representar el 26% dels nius a Andorra, mentre que a Europa no hi ha dades de la utilització d'aquestes cavitats per part del mussol pirinenc (Dalmau et al., 2006 citat per Baucells, 2010). La utilització de cavitats de picot garser gros que es dona a la vessant sud dels Pirineus probablement sigui deguda a la observada baixa disponibilitat de cavitats de picot negre (Camprodon et al., 2020). A diferència de les de picot negre, aquestes són de dimensions més reduïdes, resultant en mides de posta més petites i amb possibles dificultats en la supervivència dels polls (López et al., 2010).

Si bé les cavitats de picot garser gros no són les més seleccionades, s'ha observat que els arbres niu amb cavitats d'aquesta espècie normalment contenen 2 o més cavitats i en alguns casos cavitats amb múltiples entrades. Aquesta característica afavoreix l'ocupació per part del mussol ja que permet una major ventilació del niu, evitant la insalubritat que provoca l'acumulació de femtes i preses, i una major possibilitat d'escapada en cas d'atac per part de la marta (Auria, 2013, 2017). Per contra, bona part de les cavitats se situen en arbres vius amb alt recobriment d'escorça, en altures inferiors als 4 m i sovint amb branques per sota la cavitat, factors que podrien augmenten el risc de depredació (Ravussin et al., 2001). Per altra banda, gràcies a les dimensions reduïdes de l'entrada, la depredació és més difícil que en una cavitat de picot negre (Camprodon et al., 2020). Generalment els mussols utilitzen cavitats a altures superiors als 4 m, preferiblement a 9-12 m (Auria, 2013, 2017). En canvi, el 58% les cavitats de picot garser gros se situen en altures inferiors als 4 m, és a dir que més de la meitat de les cavitats excavades per aquesta espècie no s'adeqüen a les preferències del mussol.

Les cavitats de picot verd podrien ser preferibles pel mussol per davant de les de picot garser gros al tenir una cubeta més àmplia i un diàmetre d'obertura més gran (vegeu annex A). Malgrat això, les de picot verd són molt escasses a la zona d'estudi, representant només el 6,7% del total. A més estan excavades en arbres trencats, en avançat estat de descomposició i en una alçada mitjana inferior als 4 m, és a dir que no serien del tot favorables pel mussol.

Les cavitats naturals també han resultat ser poc freqüents als boscos de pi negre. Aquest fet s'explicaria en què bona part de les pinedes de pi negre no arriben a estadis de maduresa degut a la explotació forestal i que aquestes pràcticament només ofereixen cavitats naturals a partir dels 120-150 anys (Diputació de Barcelona, 2012). A diferència de les pinedes de pi negre, les fagedes tenen una major disponibilitat de cavitats originades de forma natural, en part gràcies a que el faig és més propens a patir trencaments de branques (Camprodon et al., 2008). Aquest fet explica que, en les fagedes dels Pirineus Atlàntics, les cavitats naturals arriben a suposar el 20% dels nius ocupats per mussol pirinenc, mentre que a la zona d'estudi no arriben ni a ser el 12% de les cavitats potencials per ser ocupades (Auria, 2013, 2017). Així doncs, la disponibilitat total de cavitats per al mussol en les pinedes de pi negre dels Pirineus orientals depèn directament de la presència de picots (Joveniaux & Durand, 1987; Ravussin et al., 2001).

La importància de les caixes niu per garantir la reproducció i conservació del mussol pirinenc és ben coneguda, tal i com demostren els estudis de López i altres (2010) als Pirineus, i Ravussin i altres (2001) al Jura. Els resultats d'aquest estudi confirmen una major utilització de les caixes niu en els territoris amb baixa disponibilitat de cavitats, i en canvi una poca o nul·la utilització de les caixes niu en els territoris amb suficients cavitats. Durant el període 2005-2019, en els territoris amb baixa disponibilitat de cavitats només s'ha pogut constatar la reproducció en caixes niu, fet que indicaria que es tracta de territoris amb una bona disponibilitat d'aliment i on la reproducció depèn exclusivament de les caixes niu. Així, l'emplaçament de caixes niu en zones d'hàbitat subòptim amb absència de mussol, podria permetre la colonització de territoris amb bona disponibilitat d'aliment però amb manca de cavitats (Ravussin et al., 2001).

Coincidint amb els estudis d'Andersson i altres (2018) i Camprodon i altres (2008), la disponibilitat d'arbres niu ha resultat ser major en boscos amb característiques de maduresa, sobretot en termes de diàmetre normal mitjà dels arbres i densitat d'arbres morts en peu. Segons el Manual de gestió de les pinedes de pi negre (2012) es considera que uns valors al voltant de 29 cm de DBHm, de 27 m³/ha per AB i juntament amb la presència d'arbres morts de més de 25 cm en peu, són indicadors de maduresa del rodal. En canvi, Camprodon i altres (2020) suggereixen unes àrees basals de 30-35 m³/ha i un diàmetre mínim mitjà de 30-35 cm per assegurar la permanència dels territoris de mussol pirinenc en boscos gestionats. Malgrat que els valors d'àrea basal són superiors en pràcticament tots els territoris, aquest ha resultat ser el factor menys relacionat amb la disponibilitat d'arbres niu. Pel que fa al DBHm, només el 58,33% dels territoris assoleixen els valors esmentats, coincidint amb els territoris amb major disponibilitat. Concretament, els territoris amb més de 9 arbres niu presenten diàmetres mitjans superiors als 34 cm i densitats superiors als 16,5 arbres morts per hectàrea. Aquests valors són semblants als observats a Andorra, on els rodals de nidificació del mussol (mitjana de 5 cavitats) presenten diàmetres mitjans de 31 cm i densitats de 14,44 arbres morts per hectàrea (Mariné & Dalmau, 2000).

L'alta proporció de territoris amb insuficient grau de maduresa és degut a que una part important de les pinedes de pi negre són joves, bé perquè hagin sigut objectes de gestió o bé perquè siguin originades per la recolonització d'espais de pastures. A aquests factors cal afegir-hi el creixement lent que tenen degut a les condicions climatològiques extremes (Diputació de Barcelona, 2012). Aquestes pinedes tindrien al voltant dels 70-80 anys, a diferència del territori mostrejat amb més cavitats que en tindria aproximadament 120 (J. Camprodon, com pers.). Tenint en compte que el pi negre pot arribar als 400 anys de vida, és evident que els estadis de maduresa que presenten els territoris mostrejats encara queda molt allunyats del clímax.

La disponibilitat de cavitats de picot garser gros, també està significativament relacionada amb la DBHm del rodal, assolint els valors màxims per sobre dels 34 cm de DBHm i sent força escasses per sota dels 27 cm de DBHm. L'escassetat per sota d'aquest últim valor confirma la necessitat de la presència d'arbres d'un mínim de 25 cm de diàmetre per al picot garser gros (Camprodon et al., 2020). En canvi, les cavitats de picot negre han

resultat està significativament relacionades tant amb DBHm, com amb AB i AM, fins al punt de ser pràcticament absents en rodals amb DBHm inferiors a 30 cm i valors d'AM inferiors a 15 (Pirovano & Zecca, 2014). Aquestes diferències entre les dues espècies demostren la major importància que té la presència de fusta morta en peu per al picot negre que per al picot garser gros, ja que tal i com s'ha comentat anteriorment, en les pinedes de pi negre, el picot negre gairebé només utilitza peus morts per a excavar cavitats, mentre que el picot garser gros, també pot utilitzar arbres vius. Aquests resultats contrasten amb els observats als Pirineus Atlàntics, on gairebé tots els nius de picot negre s'ubiquen en faigs vius (Auria 2013, 2017), així com també en boscos alpins de coníferes dels Alps italians (Pirovano & Zecca, 2014). Tot i això, cal destacar la importància de la presència tant de fusta morta tant en peu com a terra, pel fet de proporcionar aliment pels picots i refugi pels micromamífers (Mariné & Dalmau, 2000; Mariné et al., 2007; Pirovano & Zecca, 2014).

5.1 Implicacions per a la gestió

Donada la limitada disponibilitat de cavitats i considerant-la un factor clau per a la conservació de l'espècie als Pirineus, és necessari emprendre mesures de gestió de cara a garantir la conservació de l'hàbitat de cria del mussol pirinenc a la vessant sud dels Pirineus orientals.

D'entrada, a escala de rodal seria òptim mantenir intactes els boscos madurs promovent la dinàmica natural del bosc, en la que hi té lloc el procés de decadència dels arbres i com a conseqüència la generació de cavitats naturals i una major disponibilitat d'arbres a ser excavats pels pícidis (Andersson et al., 2018; Camprodon et al., 2008; Gibbons & Lindenmayer, 2002; Goodburn & Lorimer, 1998). Joveniaux i Durand (1987), recomanen deixar entre 1-3 hectàrees de bosc madur cada 100 ha de terreny forestal, tot i que a la zona d'estudi podrien ser de l'ordre de 5-10 ha donades les insuficients densitats de cavitats que s'han trobat i tenint en compte també, que generalment el mussol té uns territoris de reproducció més grans (7,6 ha) (Hayward et al., 1993). Un bon exemple seria el territori mostrejat amb més cavitats, en el qual no s'hi ha dut a terme cap mena de gestió en els darrers 60 anys, permetent-li assolir un estadi de maduresa bo (peus de 120 anys) i amb bona disponibilitat de cavitats, sobretot de picot negre (J. Faus, com pers.).

La densitat de 3 d'arbres niu d'aquest territori seria el mínim recomanable, mentre que els valors òptims estarien al voltant de 10, molt per sobre de la resta de territoris mostrejats (Camprodon et al., 2020).

Cal afegir que la majoria de boscos madurs es troben en llocs inaccessibles, en pendents fortes a altituds elevades, i on sovint el sòl és pedregós i poc productiu. Per tant convindria aplicar mesures de conservació en les zones potencialment més productives per acollir boscos madurs, que en molts casos, han resultat ser els boscos més explotats a causa de la major la facilitat d'accés.

No obstant, la gestió forestal no és incompatible amb la presència del mussol pirinenc ni amb la dels picots, però sí que requereix una modernització de la silvicultura tradicional per integrar criteris de conservació per a espècies clau (píccids) i amenaçades (mussol pirinenc) en els boscos on els aprofitaments siguin inevitables (Auria, 2017; Mariné & Dalmau, 2000). Seria adient no realitzar aprofitaments forestals que deixin només arbres joves de poc diàmetre, sinó realitzar aclarides successives en petits bosquets o tales de selecció en grups o bosquets, de manera que es creïn boscos heterogenis, amb diversitat de classes d'edat i de diàmetres, i amb una àrea basal de 30-35 m²/ha. Amb això, és important deixar agregats d'un mínim de 4 arbres de diàmetres mínims superiors als 30-35 cm, i preferentment de creixement rectilini i amb poc o gens brancat en la part inferior i central del tronc, així com també conservar els arbres pare o llavorers (Baucells, 2010; Camprodon et al., 2020). També és important conservar la fusta morta en peu de més de 25 cm de diàmetre i preferentment almenys 5 peus/ha des més 35 cm per al picot negre (veure annex H), així com també la fusta morta a terra, que a més, en avançats estats de descomposició perd valor silvícola (Camprodon et al., 2007; Mariné & Dalmau, 2000). Tot i així, en un dels territoris mostrejats hi ha un excessiu nombre d'arbres morts en peu, causats per mort prematura, possiblement degut a la baixa qualitat del sòl. Aquests arbres no presenten les evidències de decadència, ni tenen l'edat ni la mida habituals per morir, amb la qual cosa difícilment seran excavats pels picots. En aquest cas seria adequat portar-hi a terme una gestió planificada, amb aclarides successives per evitar el col·lapse del rodal i que tots els arbres arribin a la maduresa a l'hora.

Els aprofitaments i/o gestions han de respectar els períodes crítics per a les espècies. En el cas del mussol es recomana no actuar durant el període de desembre a juliol en un buffer de 50 m al voltant dels nius, així com també no alterar els voltants de les cavitats i/o caixes niu utilitzades els darrers anys (Camprodon et al., 2020).

A nivell d'arbre niu és important mantenir tots els arbres amb cavitats existents, ja siguin de picot negre, picot garser gros, picot verd o cavitats d'origen natural (Joveniaux & Durand, 1987; Mariné et al., 2007). En els territoris amb baixa disponibilitat de cavitats i poca disponibilitat d'arbres aptes per a acollir-ne, pot ser adient l'anellament de peus d'un diàmetre mínim de 25 cm en agregats de 4 arbres repartits per tot el rodal. D'aquesta manera es proporciona un major ventall d'arbres disponibles a acollir cavitats de picots. Tot i ser preferible mantenir la dinàmica natural del bosc, cal destacar la importància de les caixes niu, sobretot en els territoris en baixa disponibilitat de cavitats i també en boscos potencialment favorables sense presència coneguda de mussol, per tal de permetre l'expansió de nous individus i augmentar-ne el rang de distribució (Ravussin et al., 2001). Les caixes niu han d'estar col·locades estratègicament i tenint en compte els perills de depredació i les preferències del mussol (vegeu López et al., 2010). Per contra, no seria recomanable la col·locació de caixes niu en territoris ocupats i amb bona disponibilitat de cavitats, on la reproducció del mussol s'hi dona de forma regular, evitant així, modificar el comportament de l'espècie (Baucells, 2010).

D'altra banda cal tenir en compte que no només cal preservar les cavitats com a mesures de conservació pel mussol pirinenc, sinó que també cal mantenir una bona estructura del paisatge i conservar les pastures i ecotons adjacents als rodals de nidificació. La proximitat a aquests hàbitats també és un factor limitant de la presència del mussol, ja que són zones importants per a la captura de micromamífers (R. Mariné, com pers.).

Finalment, part de les dades quantitatives d'aquest treball s'han utilitzat a la publicació del projecte Habios: *Manual para la gestión del hábitat del mochuelo boreal* (Camprodon et al., 2020), on s'hi poden trobar en detall, un recull de mesures enfocades a la conservació del mussol pirinenc i els seus hàbitats.

6 Conclusions

En general, es pot concloure que la disponibilitat de cavitats en els territoris de mussol pirinenc de l'estatge subalpi dels Pirineus orientals és baixa, i que depèn directament de la presència de picots.

Les cavitats de picot garser gros són les més abundants, seguit de les de picot negre, excavades majoritàriament en arbres morts. La disponibilitat de cavitats de picot verd i d'origen naturals és molt baixa.

La disponibilitat de cavitats és major en rodals amb característiques de maduresa. El diàmetre normal mitjà i la presència d'arbres morts en peu de més de 25 cm de diàmetre són les variables d'estructura forestal que més determinen la disponibilitat total d'arbres niu. La disponibilitat de cavitats de picot negre està directament relacionada amb un diàmetre normal mitjà per sobre dels 30 cm i una densitat de 15 arbres morts en peu per hectàrea, mentre que la disponibilitat de cavitats de picot garser gros només es veu influenciada per el diàmetre mig dels arbres.

L'ocupabilitat de les caixes niu és major en els territoris amb poca disponibilitat de cavitats, on són un factor clau per garantir-hi la reproducció del mussol.

Preservar els boscos madurs és clau per a la conservació de l'espècie. Mesures com no talar els arbres vius o morts de més de 35 cm de diàmetre i no talar els arbres niu amb cavitats, són primordials per garantir una bona disponibilitat de cavitats i com a conseqüència l'èxit reproductor del mussol.

7 Bibliografia

- Aitken, K. E., & Martin, K. (2007). The importance of excavators in hole-nesting communities: availability and use of natural tree holes in old mixed forests of western Canada. *Journal of Ornithology*, 148(2), 425-434.
- Andersson, J., Domingo Gómez, E., Michon, S., & Roberge, J. M. (2018). Tree cavity densities and characteristics in managed and unmanaged Swedish boreal forest. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33(3), 233-244.
- Auria, J., C. (2013). Rapport de synthèse de 13 années d'étude sur le suivi de la chouette de Tengmalm dans les forêts publiques des Pyrénées-Atlantiques. Office National des Forêts.
- Auria, J., C. (2017). Recherche de la chouette de Tengmalm dans les forêts publiques des Pyrénées-Atlantiques. Office National des Forêts.
- Baroni, D., Korpimäki, E., Selonen, V., & Laaksonen, T. (2020). Tree cavity abundance and beyond: nesting and food storing sites of the pygmy owl in managed boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 460, 117818.
- Baucells, J. (2010). *Els rapinyaires nocturns de Catalunya: "Biologia, gestió i conservació de les vuit espècies de rapinyaires nocturns catalans i els seus hàbitats"* (1a ed). I. G. Sta. Eulàlia–Santa Eulàlia de Ronçana, Barcelona.
- Bleach, M. (1892). Colección Universal de Animales Insectívoros. Barcelona.
- Bocca, M., Carisio, L., & Rolando, A. (2007). Habitat use, home ranges and census techniques in the Black Woodpecker *Dryocopus martius* in the Alps. *Ardea*, 95(1), 17-29.
- Bolòs i Capdevila, O. D. (1991). Les Zones de vegetació de Catalunya. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, (25), 105-118.
- Camprodon, J., Campión, D., Martínez-Vidal, R., Onrubia, A., Robles, H., Romero, J. L., & Senosiain, A. (2007). Estatus, selección del hábitat y conservación de los pícidos

ibéricos. En: *Conservación de la biodiversidad y gestión forestal*. J. Camprodon, E. Plana (Ed.), 391-434.

Camprodon, J., Jato, R., Guixé, D., Badosa, E., & Potrony, D. (2020). Manual para la gestión del hábitat del mochuelo boreal. Interreg POCTEFA Habios. *Gobierno de Aragón i Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya*.

Camprodon, J., Salvanyà, J., & Soler-Zurita, J. (2008). The abundance and suitability of tree cavities and their impact on hole-nesting bird populations in beech forests of NE Iberian Peninsula. *Acta Ornithologica*, 43(1), 17-31.

Carreras, J., Carrillo, E., Ferré, A., & Masalles, R. M. (2005). Manual dels hàbitats de Catalunya, volum VI (4 Boscos). *Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya*. Barcelona.

CARTO (2020). Catalunya_shapefiles_comarcas. Recuperat de:

https://vangdata.carto.com/tables/shapefiles_catalunya_comarcas/public/map

Cockle, K. L., Martin, K., & Wesołowski, T. (2011). Woodpeckers, decay, and the future of cavity-nesting vertebrate communities worldwide. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(7), 377-382.

Cramp, S., Simmons, K. L. E., Brooks, D. C., Collar, N. J., Dunn, E., Gillmor, R., ... & Olney, P. J. S. (1983). *Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa. The birds of the Western Palearctic: 3. Waders to gulls*.

Departament de Territori i Sostenibilitat. (2020). Cartografia dels Hàbitats de Catalunya, versió 2 (2018). Recuperat de:

https://territori.gencat.cat/ca/01_departament/12_cartografia_i_toponimia/bases_cartografiques/medi_ambient_i_sostenibilitat/bases_miramont/territori/29_habitats_1_5000_perfulls/

Diputació de Barcelona (2012). *Les pinedes de pi negra: Manual de gestió d'hàbitats*. Barcelona: Obra Social "la Caixa".

Graham, M. H. (2003). Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology*, 84(11), 2809-2815.

- Gibbons, P., & Lindenmayer, D. (2002). *Tree hollows and wildlife conservation in Australia*. CSIRO publishing.
- Goodburn, J. M., & Lorimer, C. G. (1998). Cavity trees and coarse woody debris in old-growth and managed northern hardwood forests in Wisconsin and Michigan. *Canadian Journal of Forest Research*, 28(3), 427-438.
- Grangé, J. L., Auria, J. C., & Duvallet, S. (2010). Caractérisation des sites de nidification du Pic noir *Dryocopus martius* dans les Pyrénées occidentales.
- Hågvar, S., Hågvar, G., & Mønness, E. (1990). Nest site selection in Norwegian woodpeckers. *Ecography*, 13(2), 156-165.
- Hayward, G. D., Hayward, P. H., & Garton, E. O. (1993). Ecology of boreal owls in the northern Rocky Mountains, USA. *Wildlife Monographs*, 3-59.
- Institut Catorgràfic i Geològic de Catalunya (2020). *Mapa topogràfic 1:25.000*. Recuperat de: <https://www.icgc.cat/Descarregues/Mapes-en-format-d-imatge/Mapa-topografic-1-25.000>.
- Institut Catorgràfic i Geològic de Catalunya (2020). *Mapes de variables biofísiques de l'arbrat de Catalunya*. Recuperat de: <https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Capes-de-geoinformacio/Mapes-de-variables-biofiques-de-l-arbrat-de-Catalunya>.
- Joveniaux, A., & Durand, G. (1987). Gestion forestière et écologie des populations de chouette de Tengmalm (*Aegolius funereus*) dans l'Est de la France. *Revue d'écologie*.
- Korpimäki, E. (1984). Clutch size and breeding success of Tengmalm's Owl *Aegolius funereus* in natural cavities and nest-boxes. *Ornis*, 61, 80-83.
- Korpimäki, E. (1988). Effects of territory quality on occupancy, breeding performance and breeding dispersal in Tengmalm's owl. *The Journal of Animal Ecology*, 97-108.
- Kosinski, Z., & Kempa, M. (2007). Density, distribution and nest-sites of woodpeckers (Picidae) in a managed forest of Western Poland. *Polish Journal of Ecology*, 55(3), 519.

- López, B. C., Potrony, D., López, A., Badosa, E., Bonada, A., & Saló, R. (2010). Nest-box use by boreal owls (*Aegolius funereus*) in the Pyrenees Mountains in Spain. *Journal of Raptor Research*, 44(1), 40-49.
- Mariné, R., & Dalmau, J. (2000a). Uso del hábitat de reproducción por el mochuelo boreal (*Aegolius funereus*) en Andorra (Pirineo oriental). *Ardeola*, 47 (1): 29-36.
- Mariné, R., Dalmau, J., Torre, I., & Martínez-Vidal, R. (2007). Importancia de la gestión forestal y de las comunidades de pequeños mamíferos en la estrategia de conservación del mochuelo boreal en la vertiente sur de los Pirineos. *Conservación de la biodiversidad, fauna vertebrada y gestión forestal*, 376-390.
- Mariné, R., Lorente, L., Dalmau, J., & Bonada, Á. (2004). Mochuelo boreal *Aegolius funereus*. *LIBRO ROJO*, 291.
- Martin, K., & Eadie, J. M. (1999). Nest webs: a community-wide approach to the management and conservation of cavity-nesting forest birds. *Forest Ecology and Management*, 115(2-3), 243-257.
- McCullagh, P., & Nelder, J. A. (2018). *Generalized linear models*. Routledge.
- Mikkola, H. (1983). *Owls of Europe (1a ed.)*. T. & AD Poyser.
- Newton, I. (1994). The role of nest sites in limiting the numbers of hole-nesting birds: a review. *Biological conservation*, 70(3), 265-276.
- Newton, I. (1998). *Population limitation in birds*. Academic press.
- Pirovano, A. R., & Zecca, G. (2014). Black Woodpecker *Dryocopus martius* habitat selection in the Italian Alps: implications for conservation in Natura 2000 network. *Bird Conservation International*, 24(3), 299-315.
- Puverel, C., Abourachid, A., Böhmer, C., Leban, J. M., Svoboda, M., & Paillet, Y. (2019). This is my spot: What are the characteristics of the trees excavated by the Black Woodpecker? A case study in two managed French forests. *Forest Ecology and Management*, 453, 117621.

- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- Ravussin, P. A., Trollet, D., Willenegger, L., Béguin, D., & Matalon, G. (2001). Choix du site de nidification chez la chouette de Tengmalm *Aegolius funereus*: influence des nichoirs. *Nos Oiseaux*, 5, 41-51.
- Remm, J., & Lõhmus, A. (2011). Tree cavities in forests—the broad distribution pattern of a keystone structure for biodiversity. *Forest Ecology and Management*, 262(4), 579-585.
- Rolstad, J., Rolstad, E., & Sæteren, Ø. (2000). Black woodpecker nest sites: characteristics, selection, and reproductive success. *The Journal of wildlife management*, 1053-1066.
- Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1763-1768.
- Short, L. L. (1979). Burdens of the picid hole-excavating habit. *The Wilson Bulletin*, 91(1), 16-28.
- Sonerud, G. A. (1985). Nest hole shift in Tengmalm's owl *Aegolius funereus* as defence against nest predation involving long-term memory in the predator. *The Journal of Animal Ecology*, 179-192.
- Torre, I., Raspall, A., & Arrizabalaga, A. (2013). Seguimiento de micromamíferos comunes (O. Soricomorpha y O. Rodentia) de España.
- Virkkala, R. (2006, January). Why study woodpeckers? The significance of woodpeckers in forest ecosystems. In *Annales Zoologici Fennici* (pp. 82-85). Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.
- Warton, D. I., Lyons, M., Stoklosa, J., & Ives, A. R. (2016). Three points to consider when choosing a LM or GLM test for count data. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(8), 882-890.

ANNEX A

Taula 5: Característiques bàsiques i identificatives dels nius dels picots de la Península Ibèrica. Font: Camprodon i altres (2007).

Nom comú	Nom científic	Dimensions del forat (cm)	Profunditat de la cavitat (cm)	Diàmetre mínim del tronc (cm)	Altura Mitjana del niu (m)	Preferència d'arbre-niu	Localitat de referència
Picot negre	<i>Dryocopus martius</i>	13 x 8	60	35	7-8,5	Fusta morta o viva de pins i frondoses	Catalunya
Picot garser gros	<i>Dendrocopos major</i>	4,9-6 x 4,9-6	25-35	14-18	3-8	Fronloses de fusta tova, amb preferència per arbres decrepits	Catalunya
Picot dorsiblanc	<i>Dendrocopos leucotos</i>	7 x 7	30	41	22	Fronloses, sobretot faigs en decadència	Navarra
Picot garser mitjà	<i>Dendrocopos medius</i>	4,5 x 4,5		20-22		Fronloses decrepites, com per exemple, roures	Serralada Cantàbrica
Picot garser petit	<i>Dendrocopos minor</i>	3,4 x 3,5		13 (7,5 en branques)	3-6	Fronloses de fusta tova i normalment morta, com per exemple, pollancre	Catalunya
Picot verd	<i>Picus viridis</i>	6 x 7,5	40	20	3-12	Arbres sans o decrepits	Europa Central

ANNEX B

Taula 6: fitxa de camp utilitzada durant el mostreig de cavitats.

Rodal				Data				Pers					
Id. arbre	Sp arbre	Tipus cavitat	X	Y	DN	H	H forat	Estat tronc	% escorça	Dist. arbre	Orientació	Pendent	Observacions

ANNEX C

Taula 7: Característiques d'hàbitat i d'estructura forestal dels 12 territoris mostrejats.

Rodal	Tipus bosc	Rang altitudinal (m)	Orientació	AB (m ² /ha)	Hmit (m)	DBHm (cm)	FCC (%)	AM/ha
1	<i>P. unc</i>	2025-2080	S	45,379	10,24	31,01	53,03	11,20
2	<i>P. unc</i>	2015-2100	E	46,728	11,55	34,13	49,84	17,60
3	<i>P. unc</i>	2025-2075	E	51,417	12,60	33,73	56,70	16,60
4	<i>P. unc</i>	1995-2035	NO	47,627	9,96	28,88	58,77	7,20
5	<i>P. unc</i>	1975-2065	NO	38,827	8,21	25,99	51,48	5,40
6	<i>P. unc</i>	1960-2020	SO	52,936	9,25	27,35	68,68	80
7	<i>P.unc + A.alb</i>	1740-1840	NO	55,622	13,24	36,06	60,10	28,60
8	<i>P. unc</i>	1800-1900	O	25,747	8,64	33,75	26,95	5,00
9	<i>P. unc</i>	2200-2212	-	48,644	8,62	24,92	68,13	42,00
10	<i>P. unc</i>	2070-2105	NE	37,673	8,53	25,24	50,01	14,60
11	<i>P. unc</i>	1950-2040	SO	51,142	9,38	27,98	66,44	12,00
12	<i>P.Unc + A.Alb</i>	1840-1875	N	33,978	8,69	27,63	41,00	16,80

ANNEX D

Taula 8: Taula resum dels models realitzats amb les variables dependents nombre d'arbres niu, nombre de cavitats de picot garser gros i nombre de cavitats de picot negre, respecte la variable predictora alçada mitjana dels arbres (Hmit).

ALÇADA MITJANA DELS ARBRES			
TIPUS DE CAVITAT	Coeficient	Desviació	P-valor
Totals (N arbres)	2.115	0.438	6.93E-4
<i>D. major</i>	1.754	0.527	7.62E-3
<i>D. martius</i>	0.372	0.106	5.79E-4

Taula 9: Taula resum dels models realitzats amb les variables dependents nombre d'arbres niu, nombre de cavitats de picot garser gros i nombre de cavitats de picot negre, respecte la variable predictora fracció de coberta (FCC).

FRACCIÓ DE COBERTA (FCC)			
TIPUS DE CAVITAT	Coeficient	Desviació	P-valor
Totals (N arbres)	0.018	0.113	0.875
<i>D. major</i>	0.0876	0.104	0.420
<i>D. martius</i>	-0.019	0.022	0.409

ANNEX E

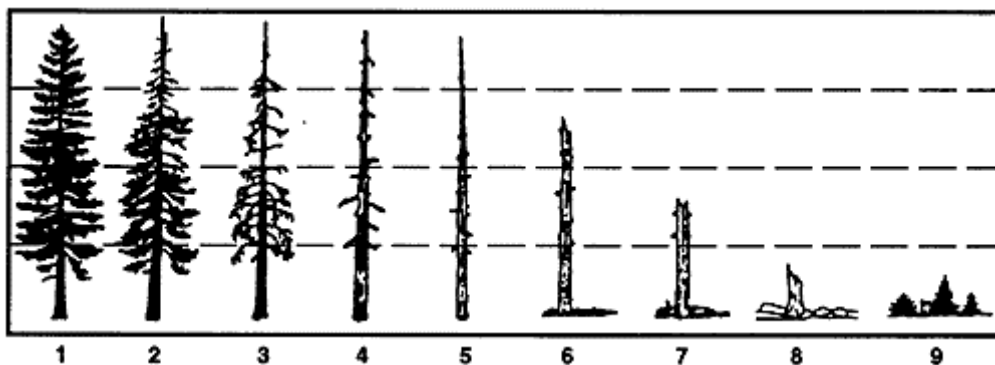


Figura 13: Il·lustració de la classificació de les tipologies de fusta morta en peu utilitzada.

Taula 10: Descripció de les tipologies de fusta mortes en peu utilitzades.

Codi	Descripció
1	Viu. Totes les fulles (excepte en caducifolis a l'hivern), branquillons y branques presents.
2	Viu, però amb decaïment i deformacions internes. Part o totes les fulles perdudes, possiblement part dels branquillons caiguts, normalment totes les branques encara presents i és possible que l'extrem superior trencat.
3	Mort. Sense fulles, més del 50% dels branquillons caiguts, la majoria de les branques presents i possible extrem trencat.
4	Mort. No queden fulles ni branquillons, més de l'50% de les branques perdudes i extrem normalment trencat.
5	Mort. Sense la majoria de les branques, algunes bases d'aquestes es mantenen buides, i l'extrem està trencat.
6	Mort. Sense branques, algunes de la base del tronc són presents però podrides. Es manté aproximadament 2/3 parts de el peu.
7	Mort. Sense branques, mínim de restes de branques podrides a la base del tronc. Es manté aproximadament la 1/2 de el peu.
8	Mort. Sense branques ni restes de branques podrides. Es manté aproximadament 1/3 del peu.
9	Mort. Soca de fusta i acumulacions de restes.

ANNEX F



Figura 14: Imatges dels diferents tipus de cavitats. Part superior: arbres niu de picot garser gros. Part central: arbres niu de picot negre. Part inferior: arbre niu de picot verd i cavitat natural. Font: pròpia.

ANNEX G



Figura 15: Imatges de diferents tipus de caixes niu. A dalt: interior d'una caixa niu buida. A baix, caixes niu de fusta i de ciment. Font pròpia.

ANNEX H:



Figura 16: A l'esquerra, arbre pare (llavorer), més alt que els del seu voltant i ramificat pràcticament des de la base que conté cavitats de picot garser gros. A la dreta, arbre niu amb cavitat de picot negre, mort i de creixement rectilini. Font pròpia.