



Estudi de l'adaptació dels boscos d'Andorra al canvi climàtic



Manel NIELL i BARRACHINA i Benjamin KOMAC i MINGAUD

Resum

En el context del projecte Poctefa-Canopee d'estudi de l'impacte del canvi climàtic en la fenologia i el decaïment dels boscos dels Pirineus, iniciat l'any 2016, es van establir tres parcel·les en un bosc de pi roig (*Pinus sylvestris*) al bosc de la Rabassa (Sant Julià de Lòria) en altures de 1.400 a 1.600 m. En anys següents, aquestes parcel·les es van ampliar fins a set, incloent-se boscos de pi negre (*Pinus uncinata*) localitzats també a la Rabassa, en altures de 1.700, 1.800, 1.900 i 2.000 metres. En aquestes parcel·les s'ha establert un sistema d'avaluació de la fenologia i l'aplicació del sistema ARCHI, desenvolupat en el marc del projecte pel Centre National de la Propriété Forestière de Toulouse, a França.

El seguiment de les parcel·les forestals s'ha complementat amb altres estudis com el creixement dels arbres amb cores i amb dendròmetres digitals, la taxa de descomposició de la matèria orgànica al sòl, la producció de bolets i s'estan recollint mostres de sòl per tal de realitzar estudis de metagenòmica dels fongs en el futur.

Paraules clau: *boscos, Andorra, canvi climàtic, pinedes, muntanyes, fongs, descomposició, dendrocronologia, fenologia, decaïment.*

Introducció

Es preveu que als Pirineus, el canvi climàtic implicarà un augment de les temperatures màximes d'entre 1 i 2,7 °C per a l'horitzó 2030, mentre que al voltant del 2050 l'augment ja seria més notable i d'entre 2,0 i 4,0 °C. Per a les temperatures mínimes, l'augment seria més suau per a l'horitzó 2030 i d'entre 1,2 i 3,3 °C el 2050 (Informe OPCC, 2018). Pel que fa a les precipitacions, hi ha una més gran incertesa de les modelitzacions però es preveu que seran cada cop més esporàdiques i irregulars a la vegada que més tempestuoses.

El canvi climàtic tindrà un marcat efecte en els ambients d'alta muntanya i en els ambients mediterranis (Antonelli *et al.*, 2018; Beniston, 2006; Schröter *et al.*, 2005). El Pirineus són un laboratori natural per avaluar els efectes del canvi climàtic, ja que gràcies a les curtes distàncies que existeixen entre els gradients altitudinals es poden realitzar transectes que

simulin els canvis latitudinals. Per tant, poden ajudar a identificar les respostes actuals de les espècies als canvis climàtics i a desenvolupar una millor comprensió de com canvien els ecosistemes en un món canviant. (Parmesan, 2006).

La seva situació geogràfica els converteix en un laboratori natural on avaluar els impactes del canvi climàtic. Els boscos especialment a les muntanyes mediterrànies està previst que siguin un dels punts en els quals el canvi climàtic hi tindrà major impacte (Rouyer et al., 2014; Goudet, 2015).

Els boscos i els arbres tenen una resposta diferent davant dels canvis ambientals. Per un costat, tenen capacitat de resiliència en cas que els impactes no superin un llindar. Aquest llindar ja pot ser sobrepassar unes determinades temperatures o dies de sequera o bé una acumulació de sequeres o de dies amb unes temperatures per sobre de determinats graus durant un temps determinat. L'impacte pot tenir unes conseqüències en l'arbre que poden ser, des de un augment de malalties víriques, bacterianes o fúngiques o provocar que l'arbre sigui més susceptible a l'atac dels insectes com la processonària del pi (Goudet, 2015).

El 39% del territori andorrà és ocupat per bosc (181 km²) segons el mapa d'hàbitats (Carreras et al., 2013) els boscos predominants són les pinedes de pi roig i pi negre que recobreixen un 50 i 35% del total de la superfície forestal. En el marc del projecte Poctefa-Canopee es van elaborar mapes de vigilància climàtica i es va comprovar que molts dels boscos andorrans són potencialment vulnerables (fig. 1) als efectes del canvi climàtic. Per tal d'avaluar la vulnerabilitat dels boscos i extreure conclusions sobre la seva gestió, es poden emprar diversos paràmetres, com la fenologia i el decaïment dels arbres que componen el bosc.

La fenologia és l'estudi de l'ocurrència estacional d'esdeveniments del desenvolupament o del cicle de vida, com ara el brot, la floració o la caiguda de les fulles de tardor. Se sap que el moment d'aquests esdeveniments és sensible als canvis climàtics a curt i llarg termini i, per tant, és un indicador sòlid dels efectes del canvi climàtic, especialment de l'augment de la temperatura (Richardson et al., 2006).

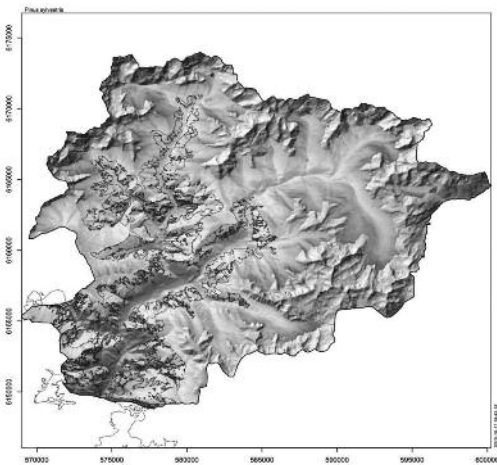


Fig. 1. En vermell, es pot veure com molts boscos d'Andorra tenen una gran vulnerabilitat davant el canvi climàtic (Philippe Dreyfus – ONF - RDI / DT Midi-Méditerranée en el marc del projecte CANOPEE)

D'altra banda, l'avaluació del decaïment ens dona una altra mesura combinada que ens indica els arbres que estan emmalaltint i la seva capacitat de recuperació o mort. El mètode ARCHI és una eina de diagnòstic visual per avaluar el declivi i la resiliència dels arbres. Es basa en una lectura de l'arquitectura aèria i caracteritza els arbres segons el seu estat fisiològic. El mètode ARCHI interpreta els símptomes del decaïment, però no n'identifica les causes. Permet diagnosticar el caràcter reversible o irreversible d'aquest decaïment i no deixar-se enganyar per símptomes de vegades transitoris com la pèrdua de fulles, coloració anormal... i de no donar per perduts els arbres estressats abans de conèixer la seva evolució natural. Per donar suport a les dades obtingudes i completar el coneixement sobre els efectes del canvi climàtic, s'estan recollint dades sobre altres característiques dels boscos, com:

- Dendrocronologia: els arbres són organismes amb una gran longevitat. El creixement dels arbres segueix una estacionalitat formant els anell de creixement. En ser immòbils, registren el que han afectat el seu creixement.
- Dendròmetres: ens permeten observar el creixement dels arbres en diàmetre en temps real mitjançant la instal·lació de dendròmetres digitals que també mesuren la temperatura de l'aire.

D'altra banda, també es realitza un estudi del sòl. El sòl és un embornal de carboni. Les emissions de carboni dels ecosistemes estan regulades fonamentalment per l'equilibri entre la producció primària i la respiració, que en gran part es deriva de la descomposició de les restes vegetals. La descomposició del material vegetal allibera nutrients i CO₂. Una taxa de descomposició lenta augmenta l'estoc de carboni en el sòl i si és ràpida s'allibera més diòxid de carboni però també permet que els nutrients estiguin disponibles pel metabolisme dels microorganismes i de les plantes. En l'estudi del sòl s'obtenen dos paràmetres com la corba de descomposició del material vegetal i la taxa de descomposició a llarg termini del material més recalcitrant. Per altra costat, també ens dona una millor comprensió de l'emissió global de CO₂ procedent dels sòls, en aquest cas dels ecosistemes de muntanya.

La descomposició de la vïrosta està controlada per la combinació sinèrgica de la seva composició bioquímica, condicions abiòtiques i l'activitat dels invertebrats i microorganismes del sòl (Hattenschwiler *et al.*, 2005; Bani *et al.*, 2018b). Els fongs i bacteris, són els responsables de la transformació i mineralització de la matèria orgànica, que contribueix principalment a la respiració del sòl i al cicle dels nutrients (Talbot i Treseder, 2011; Allison *et al.*, 2013). Se sap que els fongs produeixen un conjunt d'enzims oxidatius que degraden els biopolímers recalcitrants dels restes vegetals (Mathieu *et al.*, 2013; Hoppe *et al.*, 2015). En canvi, només uns pocs grups de bacteris degraden els polímers lignocel·lulòsics.

La diversitat i producció de fongs són variables que estan en funció de factors com el tipus de vegetació (Molina *et al.*, 1992), edat dels rodals (Kalamees and Silver, 1988; Smith *et al.*, 2002; Bonet *et al.*, 2004), dels factors climàtics (Zelalem *et al.*, 2016; Alday *et al.*, 2017), de les condicions fisiogràfiques com l'orientació, el pendent, ... (Bonet *et al.*, 2004). D'altra banda, atès que els bolets són només els cossos fructífers dels fongs, també es té previst l'anàlisi metagenòmica del sòl i s'estan recollint mostres de terra per parcel·la per analitzar-les en un futur.

Material i mètodes

Parcel·les d'estudi

El bosc de la Rabassa està situat en un vessant nord, format per pinedes de pi roig (*Pinus sylvestris*) fins als 1.700 metres d'altitud aproximadament, seguit de pinedes de pi negre (*Pinus uncinata*) fins a una alçada de 2.200 metres. El sotabosc depèn molt de la localització de les parcel·les, però en general està cobert per nabiu (*Vaccinium myrtillus*) i/o raïm d'os (*Arctostaphylos uva-ursi*) excepte en la primera parcel·la on hi predomina el ginebró (*Juniperus communis*) i el boix (*Buxus sempervirens*). L'estrat herbaci i muscinal és molt variable en funció de les parcel·les i la capa arbustiva, però en general hi ha un gran domini de la molsa *Hylocomium splendens*, excepte en la parcel·la 7, amb un predomini de *Festuca* spp. i altres gramínies.

S'han instal·lat set parcel·les al bosc de la Rabassa, a la parròquia de Sant Julià de Lòria. Cada parcel·la es troba a 100 metres d'altura l'una de les altres. Les parcel·les es troben totes orientades al nord (fig. 2), les tres primeres en boscos de pi roig, les tres darreres en boscos de pi negre i la quarta és una zona d'hibridació, tot i que amb predomini del pi negre.

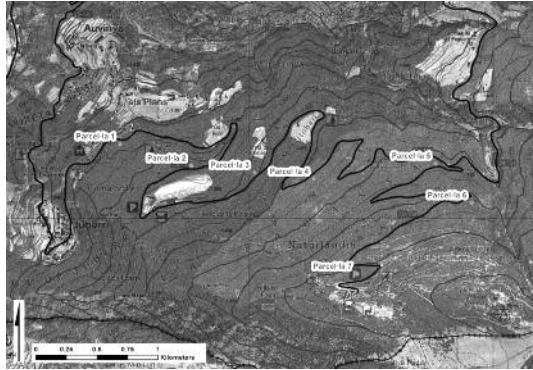


Fig. 2. Localització de les parcel·les d'estudi a la Rabassa

Seguiment de la fenologia

Totes segueixen la metodologia establerta en el projecte Poctefa-Canopee: estan en orientació nord, a cada parcel·la es seleccionen 36 arbres. En aquests 36 arbres seleccionats en cada rodal es mesura la fenologia. El seguiment es realitza cada setmana a l'època del brot (entre mitjans de maig i principi de juliol). S'han establert cinc estadis fenològics dels borrons de pi (fig. 3). Aquests estadis van ser definits pel Centre National de la Propriété Forestière de Toulouse a França i s'han fet servir a tots els Pirineus. En la fase 1 no es veuen els primordis dels borrons dels pins, en la fase 2, ja aquests borrons ja han començat a créixer, en la fase 3, els borrons creixen fins assolir la seva longitud fina. En la fase 4 ja han aparegut les fulles, tot i que estan aplicades al eix del borró. La fase 5 les fulles ja s'han obert. Quan els borrons estan en la fase 4 es calcula el percentatge de borrons totals que estan en aquesta fase amb el següent sistema d'avaluació:

- 1: percentatge de borrons en fase 4 inferior al 10%
- 2: del 10-50%
- 3: del 50-90%
- 4: més del 90%

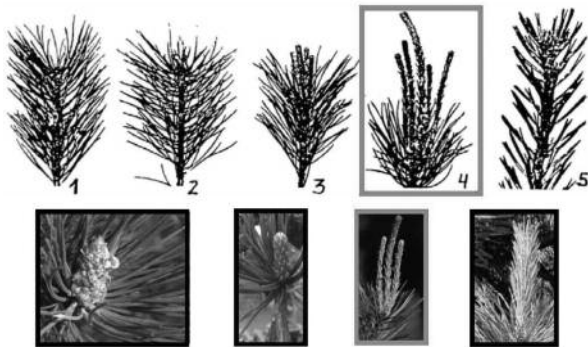


Fig. 3. Diferents estadis fenològics dels borrons de pi. Només s'avalua el percentatge dels borrons quan estan en la fase 4

Seguiment del decaïment

El decaïment indica el deteriorament general de l'arbre, que pot acabar amb la mort de l'arbre, però també, en cas que l'arbre es recuperi, també ens donarà una mesura de la seva capacitat de recuperació i resiliència. El mètode es basa en observar cada 5 anys la disposició del ramatge de l'arbre senyalat en l'estudi fenològic per avaluar el seu estat de salut: sa, estressat, resilient, debilitament irreversible i mort (Fig. 4). A l'igual que amb el mètode anterior, ha estat definit pel Centre National de la Propriété Forestière de Toulouse a França i s'han fet servir a tots els Pirineus.

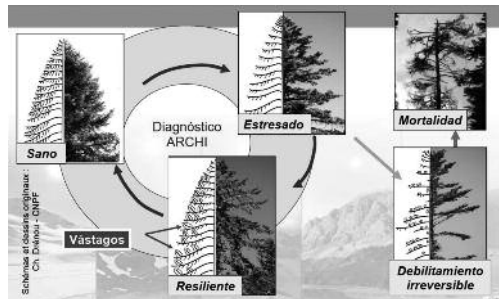


Fig. 4. Esquema del sistema de diagnòstic ARCHI per pins. Font: Centre National de la Propriété Forestière de Toulouse

Estudi dendrocronològic

A cada parcel·la s'ha mesurat el DBH (diàmetre de l'arbre a l'altura del pit) del 36 arbres del seguiment i s'ha realitzat un mapeig exacte de la localització de tots els arbres. Del total dels 36 arbres que s'estudien per la seva fenologia i decaïment, s'han seleccionat 18 arbres de diàmetre i característiques similars per realitzar l'estudiodendrocronològic.

De cada arbre s'han obtingut dos cores amb una barrina de Pressler (fig. 5). Cada mostra es troba situada a una alçada d'1,40 i 1,50 m aproximadament. Les dues mostres per arbre s'extreuen en direcció a la vessant de la vall (nord-oest) amb 10 cm de separació entre les dues perforacions. Després de ser recollits, els cores es deixen assecar un parell de dies perquè perdin la humitat i així evitar que es podreixin. Posteriorment, els testimonis s'encolen en uns llistons de fusta amb una canaleta al mig, procurant que la col·locació presenti les



Figura 5. A: barra de Pressler extraient un core d'un pi negre. B: Forats residuals deguts a l'extracció dels dos cores. C: core de pi roig abans de ser encolat al llistó de fusta

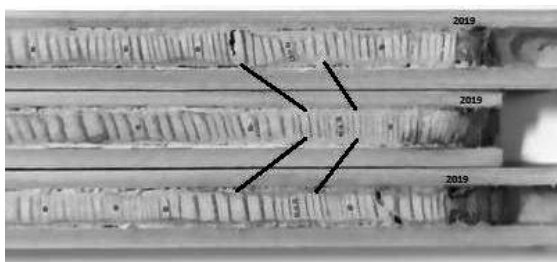


Figura 6. Exemple de datació creuada en tres cores correctament datats. Les ratlles negres uneixen anells formats el mateix any que són característics per la seva amplada. Els tres punts marquen el canvi de segle (2000) i els punts individuals el canvi de dècada. L'anell més proper a l'escorça és el de 2019

fibres de manera perpendicular, per obtenir un millor tall transversal i per tant una millor visió dels anells (fig. 6). Un cop les mostres estan seques, es llimen per poder fer visibles els anells de les mostres i obtenir el resultat final sobre el que es realitzaran les posteriors mesures.

Les mostres van ser analitzades amb la col·laboració de l'Institut Pirenaic de Ecologia (IPE) de Saragossa. La datació es va realitzar mitjançant l'observació de patrons genèrics de creixement entre els diferents arbres d'una parcel·la i agafant alguns anys característics com a dates patró per caracteritzar la resta d'anells. Quan totes les mostres van ser correctament datades es va mesurar l'amplada dels anells, ja que ofereix informació important sobre les condicions climàtiques que van facilitar o limitar el creixement de l'arbre. Aquest procediment es realitza amb el mesurador d'anells Lintab (imatge X) i es va realitzar a les instal·lacions del IPE. El core desplaça sota una lupa i, a mesura que es va indicant on comença i on acaba l'anell de creixement. Les dades les analitza el programa informàtic Cofecha (Holmes, 1983). El creixement dels arbres es pot apreciar en la presència de cèl·lules que permeten el creixement dels arbres en amplada. Aquestes cèl·lules formen una fina capa just per sota de l'escorça que va

creixement de dins a fora. En el cas del arbres de latituds temperades o fredes, aquest creixement és temporal i s'atura durant les èpoques en que les condicions ambientals no permeten créixer l'arbre. Quan les condicions són òptimes l'arbre reprèn la seva activitat. En el nostre territori, aquest temporalitat s'aprecia en una sèrie de bandes clares i fosques, formant els anells de creixement que, en el nostre cas són anuals.

A principi de primavera, amb una temperatura elevada i disponibilitat d'aigua es produeix un increment relativament ràpid de l'escorça que, a mesura que avancen les èpoques desfavorables es va alentint i s'atura a la tardor, deixant bandes de color diferent, depenent del increment de creixement, sent les bandes més fosques les que indiquen la fi de la temporada.

Però poden succeir fenòmens que creïn falses bandes, a causa de les aturades al creixement a causa de la sequera estival. Per solucionar el problema de les falses bandes, s'han de buscar bandes patró en tots els arbres presentats que actuïn com a punts de referència per identificar l'edat correcta dels arbres de la parcel·la.

Un cop tenim aquestes dades podem fer una extrapolació de les nostres dades i les dades climàtiques que es poden obtenir a partir de la sèrie de dades de FEDA (1940-2019).

Dendròmetres

En cadascuna de les parcel·les també s'han instal·lat dos dendròmetres digitals que agafen una mesura cada 30 minuts, per avaluar el creixement dels arbres en amplada i avaluar l'efecte de diferents paràmetres (temperatura, precipitacions, competència intraespecífica, etc.) en el creixement de l'arbre. A més de la dada dendromètrica també mesuren la temperatura de l'aire (fig. 7).

Pels dendròmetres digitals, gràcies que poden mesurar el creixement cada 30 minuts, podem observar les variacions tant pel que fa als canvis durant el dia i la nit com observar el creixement global durant l'any.

Seguiment de la descomposició del sòl

Se segueix el protocol definit pel grup d'ecologia de la Universitat d'Utrecht i conegut com l'estudi del *Teabag Index* (<http://www.teatime4science.org/>).

S'han utilitzat bossetes de te de la marca Lipton: te verd Lipton (EAN 87 22700 05552 5 o EAN 87 10908 90359 5) i te roiboos (EAN 87 22700 18843 8). Aquest projecte es tracta d'un estudi internacional que, en emprar-se sempre el mateix material bàsic i en haver estat estandarditzat pel grup de la Universitat d'Utrecht, permet fer rèpliques a qualsevol lloc del món, sempre que es segueixi la mateixa metodologia.



Fig. 7. Dendròmetre digital en un dels arbres de la parcel·la

Les bosses de te s'enterren en parelles a una fondària de 8 cm (te verd i roiboos) i separades uns 15 cm. En cada localitat es realitzen 10 rèpliques que es substitueixen cada 100, 150 i 200 dies, aproximadament. Un cop obtingudes les mostres es fa una comparativa entre el pes fresc i el pes sec de cada bossa (fig. 6). Aquesta diferència ens serveix per determinar l'activitat dels microorganismes del sòl i avaluar la capacitat de degradació i descomposició de la matèria orgànica del sòl, així com la capacitat que té el sòl com embornal de carboni.

Seguiment de la producció i diversitat de bolets

S'han establert 5 parcel·les quadrades de 10x10 m disposades en filera i separades també cada 10 metres en cadascuna de les 7 parcel·les on es duen a terme els anàlisis de fenologia i decaïment. Setmanalment es fa un seguiment i es recullen tots els bolets de totes les espècies de macromicets que es troben a les parcel·les. Posteriorment es determinen les espècies i es pren el pes fresc i el pes sec un cop han estat assecats (fig. 8).

Es tracta d'un estudi a llarg termini per avaluar els canvis que tenen lloc en la diversitat d'espècies i dels diferents hàbits dels bolets (tant sapròfits com micorrizogens) en funció de diverses variables per temporada ja siguin climàtiques (temperatura, pluja, gelades) com fisiogràfiques (orientació, pendent, etc., ...).

L'objectiu és estudiar com varia amb el temps la producció i la diversitat d'espècies productores de bolets que, al seu torn, tenen una gran importància ecològica en establir micorrizes amb els arbres d'importància forestal.

Un objectiu immediat és observar l'efecte climatològic (temperatura, humitat i gelades) i les variables fisiogràfiques (altitud, pendent, orientació) a la producció de bolets i, a llarg termini, els efectes del canvi climàtic al tenir parcel·les a diferents altituds que permeten replicar un canvi de temperatura esperable amb el canvi climàtic, tot i que no es tenen en compte la irregularitat en les precipitacions ni un escenari de menys humitat ambiental i edàfica.

Paral·lelament, s'engegarà un estudi de la metagenòmica dels fongs del sòl agafant mostres que seran analitzades en un futur, per observar com respon l'estructura fúngica del sòl al llarg de l'any i al llarg dels anys.

Resultats

Es tracta d'un projecte a llarg termini i, per tant, no es disposa de dades finals per a la majoria dels estudis aquí presentats. Tot seguit presentem alguns resultats preliminars:



Fig. 8. Exemple del càlcul del pes sec d'una mostra de bolets

Estudi fenològic i del decaïment

De moment encara és aviat per poder donar una resposta de com afectarà el canvi global la fenologia, ja que només tenim dades de fa 5 anys i es requerirà realitzar el seguiment al llarg de més anys, ja que 5 anys no són suficients per observar si els canvis produïts són efecte del canvi climàtic o de variacions degudes a la mateixa aleatorietat del clima.

Estudi dendrocronològic

Pel que fa a l'interval de la sèrie, la parcel·la 4 és la que té la sèrie més llarga, amb 154 anys i la parcel·la 7 és la que té la sèrie més curta, amb 92 anys. La mitjana d'edat més petita és a la parcel·la 7, seguida de la 6 per un any i mig de diferència. La parcel·la que presenta els arbres més llongs, amb una mitjana d'edat de 123,2 anys, és la 4. El creixement mitjà dels anells més elevat el trobem a la parcel·la 7, amb 1.582 cm². El RWI (*Ring Width Index*) més baix és el de la parcel·la 4 amb 0,862 cm² de mitjana.

D'altra banda, es pot observar un lent creixement en totes les parcel·les que a partir dels anys 60 augmenta significativament (fig. 9). El creixement cau significativament l'any 2005 i es manté un parell d'anys. Les úniques parcel·les que no s'han recuperat d'aquest declivi són la 2 i la 7. També s'han destacat uns quants anys representatius que han facilitat la datació creuada. Els anys 2005, 2006 i 2007 presenten anells de creixement estrets. L'any 1991 i 1931 també són molt estrets en totes les mostres. Per contra, l'any 1981 presenta la fusta tardana molt ampla. Finalment, l'any 2003 i el 1995 mostren anells bastant amples.

Per a les dades climàtiques s'han utilitzat les dades de l'estació d'Engolasters, gestionada per FEDA (Forces Elèctriques d'Andorra), ja que es troba a una alçada (1.638 m) i una orientació (300°/NW), similars a les de la zona estudiada.

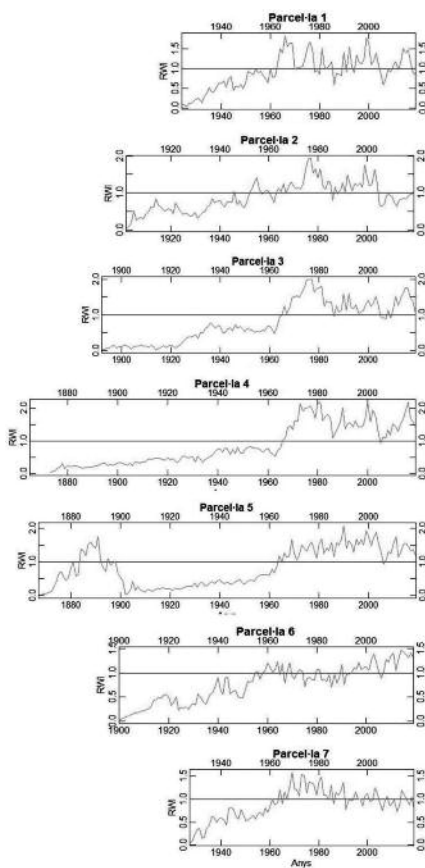


Figura 9: Cronologies dels anells de creixements de les set parcel·les mostrejades, ordenats segons el gradient latitudinal (de menor a major). El gràfic mostra el RWI, que indica l'índex de creixement en amplada de la mostra per any

S'ha calculat el grau de correlació entre els factors climàtics i el creixement de l'arbre a partir de l'any 1949. S'ha observat que tant el balanç hídric com el SPEI (índex estandarditzat de precipitació i evapotranspiració) mensuals mostren poca correlació amb el creixement en amplada del arbre. Està pendent d'avaluar l'efecte de la competència intraespecífica en els arbres de la parcel·la.

Aquest estudi es completarà el 2022 amb un estudi més precís amb col·laboració amb l'INRAE de França per mirar la microdensitat dels anells de creixement. Gràcies a una tecnologia d'anàlisi molt acurada combinada amb rajos X podrem distingir com els ritmes climàtics estacionals afecten l'activitat del càmbium. En climes temperats com el d'Andorra, el càmbium està latent a la tardor-hivern i actiu des de la primavera fins a final d'estiu o principi de tardor. Durant aquest període d'activitat, el càmbium configura una nova capa de cèl·lules del xilema, les característiques de la qual varien segons factors interns i ambientals, com el clima: l'anell anual. L'anàlisi retrospectiva de les característiques dels anells anuals aporta molta informació sobre el funcionament ecològic de l'arbre i sobre les característiques de la fusta acumulada any rere any al tronc.

Estudi de la producció de bolets

L'estudi de bolets requereix d'una sèrie de dades al llarg d'almenys 5 anys, de moment, però podem indicar com han estat els canvis de producció de tres de les espècies comestibles de les més preuades. La informació fa referència exclusivament a la producció en boscos de pi negre i, com que hi ha dades del bosc de la Rabassa de Sant Julià però també d'altres punts del país, es pot concloure que és una aproximació correcta a la producció de bolets als boscos de pi negre d'Andorra. Els canvis en la producció entre anys són conseqüència de canvis en el règim de precipitacions, però de moment es requereixen de més anys per poder establir alguna mena de correlació.

	Rovelló (<i>Lactarius deliciosus</i> i <i>quieticolor</i>)	Cep (<i>Boletus edulis</i>)	Rossinyol (<i>Cantharellus cibarius</i>)
2020	9,00 Kg/Ha	5,00 Kg/Ha	1,20 Kg/Ha
2019	1,65 Kg/Ha	0,74 Kg/Ha	0,41 Kg/Ha
2018	129,2 Kg/Ha	32,82 Kg/Ha	27,82 Kg/Ha

Els estudis de bolets ens donen molt poca informació de com s'estan produint les dinàmiques en les comunitats fúngiques, ja que només fructifica un percentatge de totes les espècies presents al medi. Gràcies a una futura aplicació de tècniques metagenòmiques s'espera que es podrà conèixer millor com aquestes comunitats s'estructuren i interactuen amb les diferents variables al llarg del temps.

Conclusions

El que s'ha presentat és un resum dels estudis que s'estan duent a terme a les parcel·les de la Rabassa, alguns d'aquests (tes, dendròmetres, bolets, metagenòmica) s'estan replicant a altres zones del país, amb l'objectiu de poder tenir un mapeig de la dinàmica global dels ecosistemes forestals i dels seus impactes enfront del canvi climàtic. De moment encara és aviat per poder establir correlacions, ja que els estudis a llarg termini requereixen anys d'acumulació de dades. Per això sembla que presentem uns resultats incomplets, però el més important és haver engegat aquests estudis i complementar cada cop amb altres estudis ecològics més específics. És la suma de dades de diferents estudis que ens permetrà entendre millor la resposta dels arbres a les variacions del seu entorn i conèixer millor les dinàmiques i respostes ecosistèmiques en el seu conjunt davant de l'efecte dels canvis globals.

Manel Niell i Barrachina,
biòleg del CENMA, AR+I,
Benjamin Komac i Mingaud,
doctor en Biodiversitat, Ecologia i Medi Ambient, Unitat de Medi Biòtic, AR+

Bibliografia

- ALDAY, J. G., BONET, J. A., ORIA-DE-RUEDA, J. A., MARTÍNEZ DE ARAGÓN, J., ALDEA, J. MARTÍN-PINTO, P., DE-MIGUEL, S., HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, M., MARTÍNEZ-PEÑA, F. (2017) "Record Breaking Mushrooms Yields in Spain". *Fungal Ecology* 26, 144-146.
- ALLISON, S. D., LU, Y., WEIHE, C., GOULDEN, M. L., MARTINY, A. C., TRESEDER, K. K., MARTINY, J. B. H. (2013) "Microbial abundance and composition influence litter decomposition response to environmental change". *Ecology*, 94(3), 714-725, DOI:10.1890/12-1243.1.
- ANTONELLI, A., KISSLING, W. D., FLANTUA, S. G. A., BERMÚDEZ, M. A., MULCH, A., MUELLNER-RIEHL, A. N., KREFT, H., LINDER, H. P., BADGLEY, C., FJELDSÅ, J., FRITZ, S. A., RAHBEK, C., HERMAN, F., HOOGHIEMSTRA, H., HOORN, C. (2018) "Geological and climatic influences on mountain biodiversity". *Nature Geosci.* 11, 718-725.
- BANI A., PIOLI S., VENTURA M., PANZACCHI P., BORRUSO, L., TOGNETTI, R., TONON, G., Brusetti, L. (2018) "The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood". *Applied Soil Ecology* 126, 75-84.
- BENISTON, M. (2006). "Mountain weather and climate: A general overview and a focus on climatic change in the Alps". *Hydrobiologia* 562, 3-16.
- BONET, J., FISCHER, C., COLINAS, C., (2004) "The relationship between forest age and aspect on the production of sporocarps of ectomycorrhizal fungi in *Pinus sylvestris* forest of the central Pyrenees". *For. Ecol. Manage.* 203, 157-175.
- CARRERAS, J., CARRILLO, E., FERRÉ, A., PEREZ-HAASE, A., NINOT, J. M., CARITG, R. (2013) Mapa dels Hàbitats d'Andorra 2012 a escala 1:25.000. Andorra. Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra de l'Institut d'Estudis Andorrans.
- GOUDET, M. (2015). *Réseau systématique de suivi des dommages forestiers, quelques informations sur l'état sanitaire de la forêt française*. Paris, France : Département de la santé des forêts.
- HÄTTENSCHWILER, S., TIUNOV, A. V., SCHEU, S. (2005) "Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems". *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 36, 191-218.
- HOPPE, B., PURAHONG, W., WUBET, T., KAHL, T., BAUHUS, J., ARNSTADT, T., HOFRICHTER, M., BUSCOT, F., KRÜGER, D. (2015) "Linking molecular deadwood-inhabiting fungal diversity and community dynamics to ecosystem functions and processes in Central European forests". *Fungal Diversity*, 77(1), 367-379.

- KALAMEES, K., SILVER, S. (1988) "Fungal productivity of pine heaths in North-West Estonia". *Acta Bot. Fennica* 136, 95–98.
- LÓPEZ-MORENO, J. I., GOYETTE, S., BENISTON, M. (2008) "Climate change prediction over complex areas: spatial variability of uncertainties and predictions over the Pyrenees from a set of regional climate models". *International Journal of Climatology* 28 (11), 1535-1550.
- MATHIEU, Y., GELHAYE, E., DUMARÇAY, S., GÉRARDIN, P., HARVENGT, L., BUÉE, M. (2013) "Selection and validation of enzymatic activities as functional markers in wood biotechnology and fungal ecology". *Journal of Microbiological Methods*, 92(2), 157–163.
- MEGISTE TAYE, Z., MARTÍNEZ-PEÑA, F., BONET, J. A., MARTÍNEZ DE ARAGÓN, J., DE-MIGUEL, S. (2016) "Meteorological conditions and site characteristics driving edible mushroom production in *Pinus pinaster* forests of central Spain". *Fungal Ecology* 23, 30-41.
- MOLINA, R., MASSICOTTE, H. B., TRAPPE, J.M. (1992) "Ecological role of specificity phenomena in ectomycorrhizal plant communities: potentials for interplant linkages and guild development". In: Read, D. J., Lewis, D. H., Fitter, A. H., Alexander, I. J. (ed.) *Mycorrhizas in Ecosystems*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, p. 106–112.
- OPCC-CTP (2018) El cambio climático en los Pirineos: impactos, vulnerabilidades y adaptación Bases de conocimiento para la futura estrategia de adaptación al cambio climático en los Pirineos.
- PARMESAN, C. (2006) "Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change". *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37: 637-660.
- SMITH, J. E., MOLINA, R., HUSO, M. P., LUOMA, D. L., MCKAY, D., CASTELLANO, M. A., LABEL, T., VALACHOVIC, Y. (2002) "Species richness, abundance, and composition of hypogeous and epigeous ectomycorrhizal fungal sporocarps in young, rotation-age, and old-growth stands of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) in the Cascade Range of Oregon, USA". *Can. J. Bot.* 80, 186–204.
- SCHRÖTER, D., CRAMER, W., LEEMANS, R., PRENTICE, I. C., ARAÚJO, M. B., ARNELL, N. W., BONDEAU, A., BUGMANN, H., CARTER, T. R., GRACIA, C. A., DE LA VEGA-LEINERT A. C., ERHARD, M., EWERT, F., GLENDINING, M. HOUSE, J. I., KANKAANPÄÄ, S., KLEIN R, J. T., LAVOREL, S., LINDNER, M. METZGER, M. J., MEYER, J., MITCHELL, T. D., RGINSTER, I., ROUNSEVELL, M., SABATÉ, S., SITCH, S., SMITH, B., SMITH, J. SMITH, P. SYKES, M. T., THONICKE, K., THULLER, W., TUCK, G., ZAEHLE, S., ZIERL, B. (2005) "Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe". *Science* 310, 1333–1337.
- TALBOT, J. M. AND TRESEDER, K. K. (2011) "Dishing the dirt on carbon cycling". *Nature Climate Change* 1(3), 144–146, DOI: 10.1038 /nclimate1125.
<http://www.teatime4science.org/>