

Efecte de la processionària en el creixement de la pinassa: implicacions a curt i llarg termini

Lluc Serrat Alemany^{1,2}

Estudiant

REBUT: 13 DE DESEMBRE DE 2023 - ACCEPTAT: 24 DE FEBRER DE 2025

RESUM

L'objectiu d'aquest estudi és quantificar l'efecte de la defoliació produïda per l'eruga processionària (*Thaumetopoea pityocampa*) en el creixement radial de la pinassa (*Pinus nigra*). Aquest treball parteix de la hipòtesi que la processionària del pi afecta negativament el creixement de la pinassa a causa de la defoliació que pateix l'arbre, i que la processionària podria tenir una tendència a parasitar arbres amb menor vigor. L'estudi s'inicia amb una part experimental enfocada a la recollida de dades en el bosc de Can Feliu, a Navès, Lleida. El treball de camp s'ha basat principalment en l'extracció de testimonis de fusta durant la tardor del 2021 de cinc arbres que van ser atacats per la processionària el 2019 i d'altres cinc que no van patir l'atac. Mitjançant la mesura de l'am-

-
1. Guanyador del Premi de la Institució Catalana d'Estudis Agraris (ICEA) a un treball de recerca de batxillerat, 7a convocatòria, 2023.
 2. Seleccionat al programa Joves i Ciència de la Fundació Catalunya La Pedrera, convocatòria 2021. Article tutoritzat l'any 2021 per Teresa Valor Ivars.

Correspondència: Lluc Serrat Alemany. A/e: llucserratalemany@gmail.com.

plada dels anells de creixement, es va calcular l'increment anual de l'àrea basal. Posteriorment, mitjançant gràfics, s'ha fet una comparació entre individus afectats i no afectats per la plaga, i s'ha estudiat la relació entre el clima i el creixement de la pinassa. A partir de l'anàlisi dels resultats, es pot concloure que hi ha una tendència decreixent en els valors d'increment de l'àrea basal anual en els individus afectats. De fet, hi ha hagut arbres que no han crescut després de l'atac. Tot i les limitacions d'aquest estudi pel que fa a la mida de la mostra analitzada, els resultats obtinguts suggereixen que cal prendre mesures per controlar la processionària, especialment en l'actual context de canvi climàtic.

PARAULES CLAU: *Pinus nigra*, pinassa, *Thaumetopoea pityocampa*, plaga, dendrocronologia.

Effect of the pine processionary caterpillar on the growth of black pine: Short- and long-term implications

ABSTRACT

The purpose of this study is to quantify the effect of defoliation produced by the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*) on the radial growth of the black pine (*Pinus nigra*). The research considers the hypothesis that the pine processionary caterpillar has a negative effect on the growth of the black pine, given the defoliation suffered by the tree, and that this caterpillar has a tendency to parasitize trees with less growth than those which are not affected. The study begins with an experimental section focused on data collection in the forest of Can Feliu, in Navès (Lleida Province). The fieldwork was primarily based on the extraction of timber cores in the autumn of 2021 from five trees that were attacked by pine processionary caterpillars in 2019 and from five other trees that had not been attacked. By measuring the width of growth rings, the basal area increment per year (BAI) was calculated. Subsequently, by means of graphs, a comparison was made between the trees affected by the pest and the non-affected individuals. The relationship between the climate and the growth of the tree species was also studied. From the analysis of the results, it may be concluded that there exists a decreasing tendency in the annual basal area increment values of the affected individuals, causing the majority of the affected trees not to grow after the attack occurred. Despite the limitations of this study in terms of the sample size analyzed, the results suggest that

measures should be taken to control the processionary caterpillar, especially in the current context of climate change.

KEYWORDS: *Pinus nigra*, black pine, *Thaumetopoea pityocampa*, pests, dendrochronology.

Efecto de la procesionaria en el crecimiento del pino laricio: implicaciones a corto y largo plazo

RESUMEN

El objetivo de este estudio es cuantificar el efecto de la defoliación producida por la oruga procesionaria (*Thaumetopoea pityocampa*) en el crecimiento radial del pino laricio (*Pinus nigra*). Este trabajo parte de la hipótesis de que la procesionaria del pino afecta negativamente al crecimiento del pino laricio debido a la defoliación sufrida por el árbol y que, además, la procesionaria podría mostrar una tendencia a parasitar árboles con menor vigor. El estudio comienza con una parte experimental centrada en la recolección de datos en el bosque de Can Feliu, en Navès, Lleida. El trabajo de campo se basó principalmente en la extracción de testigos de madera durante el otoño de 2021 de cinco árboles que fueron atacados por la procesionaria en 2019 y otros cinco que no sufrieron el ataque. Mediante la medición del ancho de los anillos de crecimiento, se calculó el incremento anual del área basal. Posteriormente, a través de gráficos, se realizó una comparación entre individuos afectados y no afectados por la plaga, y se analizó la relación entre el clima y el crecimiento del pino laricio. A partir del análisis de los resultados, se puede concluir que existe una tendencia decreciente en los valores de incremento anual del área basal en los individuos afectados. De hecho, hubo árboles que no crecieron tras el ataque. Aunque este estudio presenta limitaciones relacionadas con el tamaño de la muestra analizada, los resultados obtenidos sugieren que es necesario implementar medidas para controlar la procesionaria, especialmente en el actual contexto de cambio climático.

PALABRAS CLAVE: *Pinus nigra*, pino laricio, *Thaumetopoea pityocampa*, plaga, dendrocronología.

1. Introducció

La processionària (*Thaumetopoea pityocampa*, Denis i Schiffermüller) és una de les plagues més devastadores de coníferes, particularment en la zona mediterrània, tant des del punt de vista econòmic com ambiental (Devkota i Schmidt, 1990). La processionària és una defoliadora univoltina i polífaga que s'alimenta de coníferes (Pimentel *et al.*, 2006), i les zones supramediterrànies, amb estius i hiverns suaus, són el nínxol ecològic òptim per al seu desenvolupament (Rousselet *et al.*, 2010).

El cicle vital de la processionària comença amb la posta dels ous a les acícules del pi, durant els mesos de juliol i agost. Al setembre, es produeix l'eclosió dels ous, moment en què les larves comencen a desenvolupar-se gràcies a l'aliment que obtenen de les acícules dels arbres (Devkota i Schmidt, 1990). Els pins ofereixen aliment a les erugues en qualsevol època de l'any, ja que són perennes, fet que proporciona estabilitat al seu cicle vital (Berardi *et al.*, 2015). Per contra, en la fase larvària, la processionària pot arribar a defoliar l'arbre completament. Entre l'octubre i el novembre, amb el descens de la temperatura, les erugues creen un niu de seda que els permet suportar temperatures hivernals mínimes d'entre 0-8 °C dintre del niu (EPPO, 2020). És, també, en aquesta època de l'any quan les larves desenvolupen les seves defenses repel·lents urticants (Pimentel *et al.*, 2006). Durant els mesos de febrer i març les erugues baixen de l'arbre fent una processó i s'enterren. Finalment, es transformen en una crisàlide durant el mes d'abril. Més tard, cap al juny, la crisàlide es desclou, moment en què les arnes adultes, amb capacitat reproductiva, surten i el cicle comença de nou (Berardi *et al.*, 2015; Hóðar, 2015).

Durant els últims anys, s'ha observat que tant l'extensió com la intensitat de l'erupció poblacional de la processionària ha augmentat, fins i tot en zones on fins ara era inexistent. Aquest increment respon principalment a l'augment de la temperatura que s'ha produït en els darrers anys (Battisti *et al.*, 2005; Hóðar, 2015). Un futur amb un augment de temperatures i una reducció de precipitacions podria afavorir l'estabilitat de les larves durant l'hivern, ja que aquestes segurament naixerien abans de l'establert i, per tant, podrien arribar més desenvolupades de cara a l'hivern. D'altra banda, un estiu més càlid i més sec podria permetre el creixement més aviat de les acícules, això suposaria que la processionària tindria disponibles fulles madures abans, cosa que també ajudaria a la supervivència de les erugues (Hóðar, Zamora i Cayuela, 2012).

Diversos estudis han analitzat l'impacte de la defoliació produïda per la processionària en el creixement de diferents espècies de pi (Sangüesa *et al.*, 2013). En general, la majoria d'estudis reporten una reducció del creixement dels hostes després de la defoliació (Sangüesa *et al.*, 2013) i que aquesta reducció varia segons la intensitat de defoliació (Palacio *et al.*, 2012). Aquests estudis indiquen que la mort de l'arbre només pot tenir lloc

si l'arbre després de l'atac es veu afectat per altres factors d'estrès, tant biòtics (p. ex., altres plagues) com abiòtics (p. ex., sequeres). Un aspecte que roman poc investigat és si els individus que són afectats per l'eruga són individus amb menys vigor.

La pinassa (*Pinus nigra* Arn. subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco) es distribueix entre els 600 i els 1.700 m d'altitud i forma part tant de masses pures com mixtes. Normalment, els boscos de pinassa se situen en sòls calcaris i de poca profunditat (Candel-Pérez, Lucas-Borja i Linares, 2012). És una espècie molt resistent a les baixes temperatures i pot suportar nevades d'alta intensitat. A part, s'ha observat que, sobretot en els primers anys de creixement, és una espècie que requereix llum solar per créixer, tot i així té un grau moderat de tolerància a l'ombra, i per això es pot trobar en boscos amb estructura irregular (Trasobares, Pukkala i Miina, 2004). Un estudi realitzat per Candel-Pérez, Lucas-Borja i Linares (2012) indica que l'augment de les temperatures i de la intensitat de les sequeres pot reduir el creixement de l'espècie, per la falta de disponibilitat hídrica. Per contra, l'augment de temperatures durant l'hivern podria ampliar el període de creixement disponible per a la pinassa.

L'objectiu principal d'aquest estudi és analitzar l'efecte de la processionària del pi en el creixement radial de la pinassa a la comarca del Solsonès, concretament en un bosc de pinassa on, l'any 2019, es van produir múltiples atacs d'aquesta eruga. A més a més, s'analitza la relació entre el clima i el creixement secundari de la pinassa. Les hipòtesis a contrastar en aquest treball són: *a*) la processionària del pi afecta negativament el creixement de la pinassa a causa de la defoliació que pateix l'arbre, i *b*) els pins amb menys creixement (IAB) abans de l'atac de processionària són els seleccionats per la processionària.

2. Material i mètodes

2.1. Àrea d'estudi

L'àrea d'estudi es troba a la comarca del Solsonès, concretament a Can Feliu (42° 00' N, 1° 64' E), una zona on podem trobar boscos de *Pinus nigra* en un rang altitudinal d'entre 600 m i 1.000 m (figura 1). En aquest bosc, també trobem altres espècies arbòries com el roure (*Quercus robur*). Pel que fa als arbustos, hi ha principalment boix (*Buxus sempervirens* L.) i ginebró (*Juniperus oxycedrus* L.). A part, en aquest bosc es poden observar les diferents afeccions produïdes per la processionària.

FIGURA 1

Àrea d'estudi: Can Feliu (42° 00' N, 1° 64' E). Els punts verds són arbres control i els vermells són arbres afectats



FONT: Fotografia aèria cedida per Teresa Valor Ivars, 2019.

2.2. Disseny experimental

L'octubre del 2021, per tal d'analitzar l'efecte de la processionària en el creixement de la pinassa, es van seleccionar cinc individus afectats per la processionària l'any 2019 i cinc individus que no van ser afectats ni el 2019 ni els anys posteriors. Aquest disseny es va poder realitzar gràcies al fet que el Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC) té instal·lades una sèrie de parcel·les experimentals a Can Feliu per entendre la relació entre la processionària i les defenses dels arbres. Fruit d'aquest experiment, els individus que van ser atacats l'any 2019 estan identificats. A més, es va realitzar una parcel·la d'inventari forestal per conèixer l'estructura forestal de l'àrea d'estudi.

2.3. Recol·lecció de dades

L'octubre del 2021, es va mesurar el diàmetre a l'alçada del pit (DAP) dels arbres afectats i no afectats. De cada arbre objectiu es va extreure un testimoni de fusta, amb una barriana de Pressler, perpendicular al pendent i a l'alçada del pit. En la parcel·la d'inventari

(radi = 10 m), es va mesurar el DAP de tots els arbres, es va identificar l'espècie i la vitalitat de cada individu (és a dir, si estava viu o mort).

Per analitzar les relacions entre el clima i el creixement, es va obtenir la temperatura mitjana i la precipitació mensual de la zona d'estudi per al període 1975-2021, mitjançant registres climàtics i projeccions elaborades per l'Agència Espanyola de Meteorologia (AEMET).

A més, es van obtenir prediccions de temperatura per a diferents escenaris de canvi climàtic amb l'aplicació web KNMI Climate Change Atlas.

2.4. Datació i mesura dels anells de creixement

Per poder estudiar i mesurar els creixements dels testimonis de fusta, primer, es van deixar assecar durant una setmana; a continuació, es van fixar a un suport de fusta amb cola, amb les fibres orientades perpendicularment a l'eix d'abscisses (verticalment), per poder veure millor els anells de creixement, i finalment, es van polir i datar. La datació va consistir a escollir un anell característic cada deu anys per poder-lo comparar amb els altres testimonis i evitar errors de datació. A continuació, es va mesurar l'amplada de l'anell de creixement de cada any de cada testimoni, amb el programa Coorecorder©. En aquest punt es va observar que alguns arbres seleccionats no van créixer durant els anys 2019 i/o 2020 i justament coincidien amb arbres afectats per la processionària.

2.5. Increment anual de l'àrea basal i càlcul d'altres variables forestals

L'amplada de l'anell anual de creixement de tots els arbres es va transformar en increment de l'àrea basal (IAB, cm²/any), perquè aquesta variable té en compte l'increment de perímetre del tronc a mesura que creix. L'IAB es va calcular segons la fórmula següent:

$$IAB_t = \pi \cdot (R_t^2 - R_{t-1}^2)$$

en què R és el radi dels anys t i $t-1$.

Per conèixer l'estructura forestal de l'àrea d'estudi, es va estimar la densitat (peus/ha) i l'àrea basal (m²/ha), dos variables que mesuren la competència entre arbres en l'àmbit de parcel·la. La densitat per classes diamètriques s'ha calculat tenint en compte només els peus vius totals.

2.6. Anàlisi de dades

En primer lloc, i amb la finalitat de conèixer si la massa forestal de l'àrea d'estudi és regular o irregular, es va representar en un gràfic de barres la densitat per classes diamètriques.

En segon lloc, es van construir tres cronologies: una per als arbres afectats, una altra per als no afectats i una tercera formada per tots els arbres. Per construir aquestes cronologies, es va calcular l'IAB mitjà per a cada classe (afectats, no afectats i tots els arbres) i es va representar al llarg del temps.

Finalment, per tal d'analitzar les relacions entre el clima i el creixement, es van calcular correlacions de Pearson per al període 1975-2021 entre el creixement, utilitzant la cronologia formada per tots els arbres, i les dades mensuals de temperatura i precipitació. Els valors que es poden obtenir en el coeficient de Pearson són entre -1 i 1 ; si és positiu vol dir que hi ha una correlació positiva entre les dues variables (si una puja de valor, l'altra també) i si és negatiu vol dir que quan una variable puja l'altra baixa. Aquesta correlació és significativa quan $p < 0,05$.

3. Resultats

3.1. Característiques de la massa forestal i dels individus seleccionats

L'àrea basal i la densitat són les variables que reflecteixen millor com és l'estructura forestal del bosc de pinassa de l'àrea d'estudi. La densitat és de 1.210 peus/ha amb una àrea basal de 39,1 m²/ha. Observem que la major part dels individus de pinassa es distribueix en diverses classes diamètriques (figura 2), per tant, es pot considerar que la massa forestal és irregular.

A la taula 1 es mostren els valors de diferents variables que caracteritzen els individus seleccionats per l'estudi. El DAP i l'edat dels arbres afectats i no afectats per la processionària és similar (taula 1). Per contra, l'IAB dels individus afectats per la processionària és major que el dels arbres no afectats.

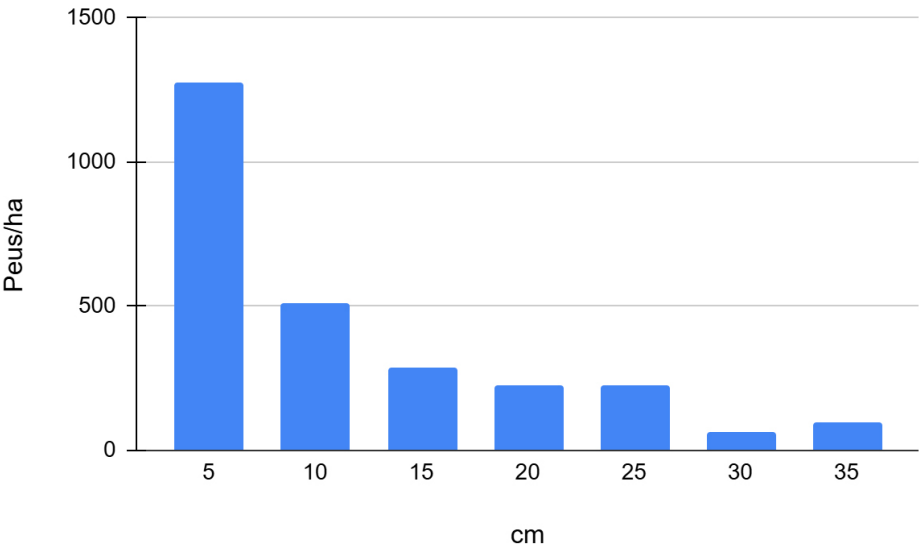
3.2. Efecte de la processionària en el creixement de la pinassa

L'IAB dels arbres afectats i no afectats segueix un patró similar, i destaca la gran davallada que es produeix l'any 2005, a causa d'una pronunciada sequera (figura 3).

En canvi, no s'observa una tendència clara que indiqui un canvi produït per l'atac del 2019, tot i així, dels cinc arbres afectats per la processionària tres no van créixer des de l'atac (taula 2).

FIGURA 2

Densitat (peus/ha) de la pinassa per classe diamètrica al bosc de Can Feliu



FONT: Elaboració pròpia.

TAULA 1

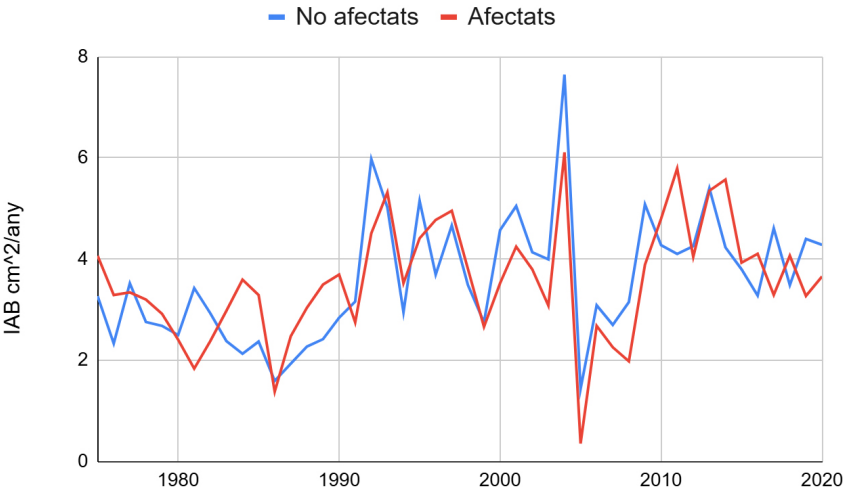
Característiques dels cinc individus seleccionats per classe d'afectació. Es mostra la mitjana per l'edat, el diàmetre a l'alçada del pit (DAP) i l'increment d'àrea basal (IAB) per a tot el període

	Nombre d'arbres	Edat (anys)	DAP (cm)	IAB (cm²/any)
Afectats	5	71,2	22,02	2,825
No afectats	5	87,2	21,92	2,402

FONT: Elaboració pròpia.

FIGURA 3

Increment anual d'àrea basal (IAB), a partir de l'any 1975 fins a l'any 2020, dels arbres afectats i no afectats. L'any 2021 s'ha exclòs, ja que la recoHecció de dades es va fer el mes d'octubre i el creixement d'aquell any no estava complet



FONT: Elaboració pròpia.

TAULA 2

Creixement radial en mm dels últims tres anys dels arbres afectats per la processionària (l'any 2021 no està complet, ja que es van recolectar les dades el mes d'octubre)

	Arbre 365	Arbre 366	Arbre 374	Arbre 992	Arbre 997
2019	0,68	0,21	0,22	0,8	1,53
2020	1,31	0	0	1,65	0,47
2021	0,38	0	0	0,76	0

FONT: Elaboració pròpia.

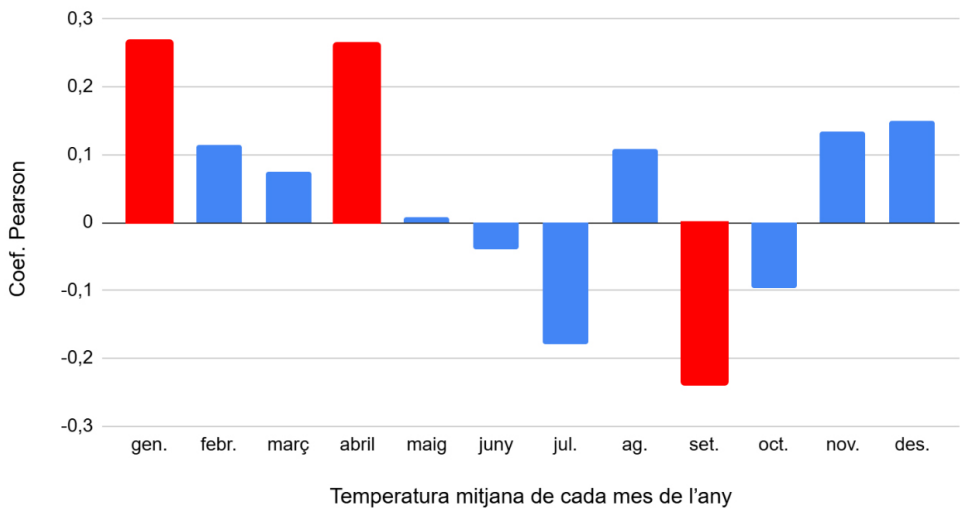
En els cinc exemplars s'observa una tendència negativa del creixement radial, que en tres casos arriba a un creixement nul el 2021 i a valors pròxims a zero en els altres dos casos (taula 2).

3.3. Relacions entre el clima i el creixement de la pinassa

L'anàlisi dendroclimàtica mostra que les temperatures del gener, de l'abril i del setembre són significatives per al creixement de la pinassa (figura 4). Això indica que el creixement de la pinassa es veu afectat positivament per la temperatura mitjana de gener i abril i negativament per la temperatura mitjana del mes de setembre.

FIGURA 4

Correlació entre les temperatures mitjanes mensuals obtingudes de l'AEMET i les mitjanes de l'IAB dels arbres afectats i no afectats des del 1975. Les barres de color vermell indiquen que hi ha una correlació significativa ($p < 0,05$) entre les dues variables

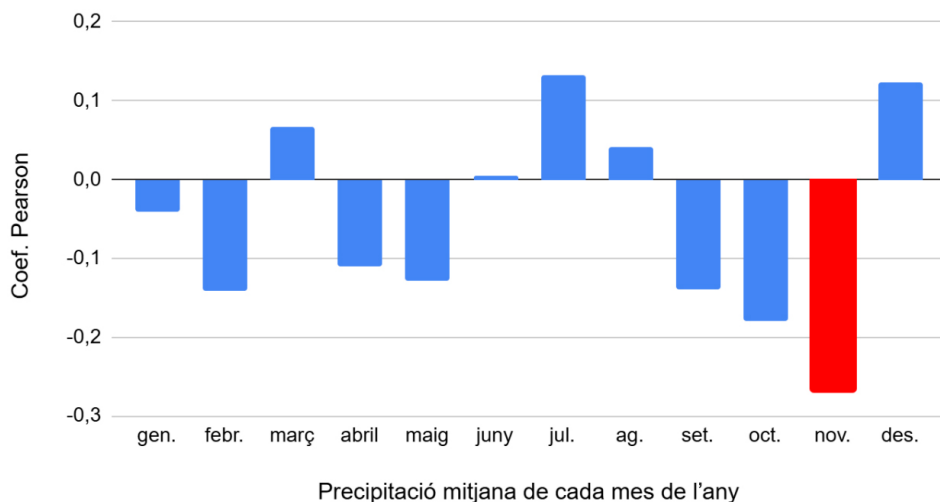


FONT: Elaboració pròpia.

En la relació entre el creixement de la pinassa i la precipitació de cada mes, s'observa que la precipitació del mes de novembre afecta negativament el creixement de la pinassa (figura 5).

FIGURA 5

Correlació entre les precipitacions obtingudes de l'AEMET i les mitjanes de l'IAB dels arbres afectats i no afectats des del 1975. Les barres de color vermell indiquen que hi ha una correlació significativa ($p < 0,05$) entre les dues variables



FONT: Elaboració pròpia.

4. Discussió

Els nostres resultats donen suport a la primera hipòtesi formulada: la defoliació de la processonària del pi té un efecte negatiu en el creixement radial de la pinassa. Això ho confirmen sobretot els valors de creixement que es mostren a la taula 2, en la qual, tal com s'ha explicat anteriorment, es pot observar que, l'any 2021, tres dels cinc arbres afectats seleccionats van tenir un creixement nul, mentre que els arbres no afectats van continuar creixent.

Un dels motius que pot haver causat el no creixement dels arbres afectats és la defoliació produïda per l'atac. La defoliació implica que l'arbre té menys superfície de fulles per fer la fotosíntesi i, com a conseqüència, que no pugui fer suficients reaccions metabòliques per obtenir recursos per al seu creixement; per tant, els recursos que té segurament els inverteix en mecanismes de defensa per combatre la processonària. No obstant això, sembla que els atacs de la processonària no produeixen la mort de l'organisme afectat, sinó que és el conjunt d'uns factors ambientals acumulats, com ara una alta competència, sequera i temperatures desorbitades, que pot arribar a produir la mort de l'individu (Hóðar, 2015).

En referència a la segona hipòtesi formulada, s'ha observat que no hi ha cap relació entre l'IAB abans d'un atac de processonària i la selecció que en fa la processonària. Tal com s'observa en la figura 3, el creixement és més o menys el mateix i és a partir de l'atac que hi ha una afectació en el creixement (taula 2). Per tant, el vigor de l'arbre abans de l'atac no sembla un factor important. Tot i això, la mida de la mostra d'aquest estudi és una limitació que no ens permet extreure conclusions fermes. Així doncs, a partir d'aquí sorgeixen una sèrie de preguntes que ens permeten obrir una àmplia porta per a futurs estudis sobre les causes que fan que les erugues processonàries seleccionin un arbre o un altre.

En relació amb la temperatura i el cicle vital de les erugues, s'han realitzat diversos estudis que demostren que un augment de temperatura afavoreix la supervivència de l'eruga (Hódar, Zamora i Cayuela, 2012). Això és degut al fet que el cicle de l'eruga s'avança a l'habitual i arriba més preparada per a la baixada de temperatures de l'hivern, ja que ha tingut més temps per desenvolupar-se. A part de l'efecte negatiu de la plaga, l'augment de la temperatura també podria tenir una repercussió negativa en el creixement del *Pinus nigra*, fet que reduiria el seu creixement, sobretot pel rang altitudinal on es troba (Candel-Pérez, Lucas-Borja i Linares, 2012).

És per això que s'ha cregut convenient fer prediccions futures de les temperatures del clima de la zona amb l'ajuda de l'aplicació web KNMI Climate Change Atlas. Aquestes prediccions s'han obtingut contrastant la diferència de la temperatura mitjana anual a la superfície entre dos períodes, del 1975 al 2021 i del 2022 al 2068, i per a diferents mesos. S'han tingut en compte dos models oposats per veure l'evolució futura de temperatures. El primer ha estat l'RCP 2.6, el qual es basa en un escenari amb poques emissions de gasos d'efecte hivernacle que considera que, a partir del 2020, comencen a baixar les emissions fins a arribar a zero emissions l'any 2100. El segon és l'RCP 8.5, el qual es basa en un escenari en què la societat no canvia els seus hàbits d'emissions i s'arriba al punt màxim d'emissions a l'atmosfera l'any 2100.

Tenint en compte el model RCP 2.6 (poques emissions), obtenim com a resultat que la temperatura mitjana anual de tot l'any augmentarà entre 1 °C i 1,5 °C durant els anys 2022-2068 respecte al període del 1975-2021. Pel que fa als mesos en què les temperatures són significatives per al creixement de la pinassa, les prediccions preveuen un augment d'entre 0,5 °C i 1 °C els mesos de gener i d'abril i entre 1 °C i 1,5 °C el mes de setembre.

En canvi, en el model RCP 8.5 (emissions màximes), s'obté que la temperatura mitjana anual de tot l'any augmentarà entre 1,5 °C i 2 °C durant els anys 2022-2068 respecte al període del 1975-2021. En considerar els mesos en què les temperatures són significatives per al creixement de la pinassa, es produeix un augment d'entre 1 °C i 1,5 °C els mesos de gener i d'abril i entre 2 °C i 3 °C el mes de setembre.

D'acord amb les prediccions realitzades, tant en l'escenari RCP 2.6 com en l'escenari RCP 8.5, l'augment de les temperatures durant els mesos d'hivern possiblement afavorirà el creixement de la pinassa, ja que hi ha una correlació positiva entre aquests mesos i el creixement que permet que la pinassa pugui començar a créixer abans i de forma prolongada durant més mesos. Malgrat això, l'augment de la temperatura en el mes de setembre afectarà negativament el seu creixement. A més, s'ha de tenir en compte que també patirà sequera per la falta de disponibilitat hídrica, cosa que podria fer que la correlació entre creixement i precipitacions dels mesos d'estiu sigui més destacable (inversament proporcional).

Una de les conseqüències que potser tindrà aquest augment de la temperatura per a la processionària és que desestabilitzarà el cicle de l'eruga fent que la desclosa dels ous sigui abans i accelerant tot el cicle. Les temperatures favorables facilitaran el descens de les erugues dels arbres, fet que farà que l'eclosió de les crisàlides per convertir-se en arnes adultes sigui abans i, com a conseqüència, la posta i l'eclosió dels ous de les següents generacions siguin abans (Hódar, 2015).

Aquestes condicions faran que les erugues tinguin un espai temporal més llarg per al seu desenvolupament i, per tant, arribaran a l'hivern amb un metabolisme més preparat i sent més resistents a les baixes temperatures. A més, si es té en compte que les prediccions indiquen que els propers hiverns seran cada cop menys freds i hi haurà més bonança, les erugues ho tindran molt més fàcil per a la seva supervivència i es minimitzarà la mort per baixes temperatures de les erugues (Hódar, Zamora i Cayuela, 2012).

Tot indica que en aquestes condicions les erugues processionàries es trobaran en un escenari òptim per a la seva població que provocarà un augment de la població d'aquesta plaga i de la seva extensió tant altitudinalment com latitudinalment. Tot i així, s'ha vist que un augment de temperatures pot provocar també un augment de paràsits en la fase d'enterrament, més habitual en altituds baixes (Hódar, 2015).

L'augment de les temperatures de setembre junt amb el fet que cada cop els atacs de processionària seran més recurrents podran causar un debilitament del vigor de la pinassa en la zona estudiada. Aquest fenomen podria afavorir el desplaçament de la distribució altitudinal de la pinassa cap a cotes més elevades per trobar escenaris on es puguin assolir les seves condicions òptimes i assegurar la seva supervivència com a espècie.

Tot i les limitacions d'aquest estudi pel que fa a la mida de la mostra analitzada, els resultats obtinguts suggereixen que cal prendre mesures dràstiques per intentar reduir els efectes de l'emergència climàtica que estem vivint. Es fa necessari crear un pla per controlar la processionària, que en els futurs anys es veurà possiblement afavorida. Controlar aquesta plaga és clau per intentar evitar el debilitament del vigor d'algunes coníferes, com ara el *Pinus nigra*.

Agraïments

Aquest estudi forma part del programa Joves i Ciència de la Fundació Catalunya La Pedrera. Volem mostrar el nostre agraïment a la Fundació Catalunya La Pedrera per haver finançat i haver fet possible la recerca presentada en aquest article i per haver confiat en nosaltres. També al Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya, concretament a Pere Casals i Lena Vila, per facilitar l'accés a les dades de la zona d'estudi. Personalment, també voldria donar les gràcies a Teresa Valor Ivars per la implicació que ha tingut en aquest article i per haver-lo fet possible, ja que sense el seu seguiment el resultat no hauria estat el mateix.

Bibliografia

- BATTISTI, A.; STASTNY, M.; NETHERER, S.; ROBINET, C.; SCHOPF, A.; ROQUES, A.; LARSSON, S. (2005). «Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures». *Ecological Applications*, núm. 15 (6), p. 2084-2096.
- BERARDI, L.; BRANCO, M.; PAIVA, M. R.; SANTOS, H.; BATTISTI, A. (2015). «Development time plasticity of the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) populations under laboratory conditions». *Entomologia*, núm. 3 (273), p. 19-24.
- CANDEL-PÉREZ, D.; LUCAS-BORJA, M. E.; LINARES, J. C. (2012). «Predicciones del crecimiento en poblaciones de pino laricio (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) bajo diferentes escenarios futuros de cambio climático». *Ecosistemas*, núm. 21 (3), p. 41-49.
- DEVKOTA, B.; SCHMIDT, G. H. (1990). «Larval development of *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., Thaumetopoeidae) from Greece as influenced by different host plants under laboratory conditions». *Journal of Applied Entomology*, núm. 109 (1-5), p. 321-330.
- EPPO = EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION (2020). «EPPO Datasheet: *Thaumetopoea pityocampa*». A: *EPPO Global Database* [en línia]. <<https://gd.eppo.int/taxon/THAUPI/datasheet>> [Consulta: 17 gener 2025].
- HÓDAR, J. A. (2015). «Incidencia de la procesionaria del pino como consecuencia del cambio climático: previsiones y posibles soluciones». A: HERRERO, A.; ZABALA, M. A. (ed.). *Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: impactos, vulnerabilidad y adaptación en España*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones, p. 295-302.
- HÓDAR, J. A.; ZAMORA, R.; CAYUELA, L. (2012). «Cambio climático y plagas: algo más que el clima». *Ecosistemas*, núm. 21 (3), p. 73-78.
- PALACIO, S.; HERNÁNDEZ, R.; MAESTRO-MARTÍNEZ, M.; CAMARERO, J. J. (2012). «Fast re-

- plenishment of initial carbon stores after defoliation by the pine processionary moth and its relationship to the re-growth ability of trees». *Trees*, núm. 26 (5), p. 1627-1640.
- PIMENTEL, C. S. M. G.; CALVÃO, T.; SANTOS, M.; FERREIRA, C.; NEVES, M.; NILSSON, J. Å. (2006). «Establishment and expansion of a *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep. Notodontidae) population with a shifted life cycle in a production pine forest, Central-Coastal Portugal». *Forest Ecology and Management*, núm. 233 (1), p. 108-115.
- ROUSSELET, J.; ZHAO, R.; ARGAL, D.; SIMONATO, M.; BATTISTI, A.; ROQUES, A.; KERDELHUÉ, C. (2010). «The role of topography in structuring the demographic history of the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera: Notodontidae)». *Journal of Biogeography*, núm. 37 (8), p. 1478-1490.
- SANGÜESA, G.; CAMARERO, J.; HERNÁNDEZ, R.; ROS, M. (2013). «Evaluaciones basadas en teledetección y dendrocronología de los efectos de la procesionaria del pino sobre el vigor y el crecimiento de pinares mediterráneos a distintas escalas espaciales y temporales». A: SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIAS FORESTALES (ed.). *VI Congreso Forestal Español*. Vitória: Publicaciones de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. 12 p.
- TRASOBARES, A.; PUKKALA, T.; MIINA, J. (2004). «Growth and yield model for uneven-aged mixtures of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* Arn. in Catalonia, north-east Spain». *Annals of Forest Science*, núm. 61 (1), p. 9-24.