

**Títol del treball:**

**AVALUACIÓ DE L'ÚS DELS ANELLS DE CREIXEMENT DEL FAIG COM A  
INDICADORS DEL CANVI CLIMÀTIC**

---

Estudiant: Albert Hernandez Caballero

Grau en Ciències Ambientals

Correu electrònic: alberthernandezcaballero@gmail.com

Tutor: Laura Llorens Guasch

Cotutor\*: -

Empresa / institució: -

Vistiplau tutor (i cotutor\*):

Nom del tutor: Laura Llorens Guasch

Nom del cotutor\*: -

Empresa / institució: -

Correu(s) electrònic(s): laura.llorens@udg.edu

\*si hi ha un cotutor assignat

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació:

## RESUM

El present treball se centra en l'estudi dendrocronològic de l'efecte del canvi climàtic sobre el creixement del faig (*Fagus sylvatica*) a la Fageda d'en Jordà (Garrotxa). S'han estudiat dues zones en funció del seu règim de protecció: la primera catalogada com a Reserva Natural Parcial (gestió pública) i la segona catalogada com a Parc Natural (gestió privada). Les variables climàtiques escollides han estat la temperatura mitjana, la temperatura màxima, la temperatura mínima i la precipitació. Aquestes variables climàtiques s'han analitzat tenint en compte diferents períodes: anual, període de creixement del faig (de març a agost), i en ple creixement del faig (mes d'abril). Les variables de creixement dels arbres que s'han estudiat han estat el diàmetre, l'amplada dels anells i l'Increment d'Àrea Basal (BAI). També s'ha determinat l'edat dels individus. Primerament s'ha avaluat si existia una variació significativa de les variables climàtiques al llarg dels darrers 35 anys. Seguidament s'ha analitzat si l'edat dels individus influïa en el seu creixement. I finalment, s'ha determinat si canvis en les variables climàtiques es correlacionaven amb canvis en el creixement dels individus durant el període estudiat.

Els resultats obtinguts indiquen que hi ha hagut un augment significatiu en la temperatura mitjana i en la temperatura mínima durant els anys estudiats, sigui quina sigui la variable utilitzada (mitjana anual, mitjana del període març-agost o mitjana del mes d'abril). També s'ha observat que l'edat influïa significativament en l'amplada dels anells dels individus i en el seu diàmetre. Finalment, s'ha pogut observar que la disminució en el BAI de les mostres extretes a la Reserva Natural durant el període d'estudi s'ha correlacionat significativament amb l'augment en la temperatura mitjana del període de creixement del faig, però sobretot amb l'augment en la temperatura mínima, ja sigui anual, del període de creixement del faig (març-agost) o del mes d'abril.

**Paraules clau:** *Fagus sylvatica*, dendrocronologia, anells de creixement, canvi climàtic, increment de l'àrea basal

## RESUMEN

El presente trabajo se centra en el estudio dendrocronológico sobre el efecto del cambio climático en el crecimiento del haya (*Fagus sylvatica*), en la Fageda d'En Jordà (Garrotxa). Se han estudiado dos zonas en función a su régimen de protección: la primera catalogada como Reserva Natural Parcial (gestión pública) y la segunda catalogada como Parque Natural (gestión privada). Las variables climáticas escogidas han sido la temperatura media, la temperatura máxima, la temperatura mínima y la precipitación. Estas variables climáticas se han analizado teniendo en cuenta diferentes períodos: anual, período de crecimiento de la haya (de marzo a agosto) i el pleno crecimiento de la haya (mes de abril). Las variables de crecimiento de los árboles que se han estudiado han sido el diámetro, la anchura de los anillos y el Incremento de Área Basal (BAI). También se ha determinado la edad de los individuos. Primeramente se ha evaluado si existía una variación significativa de las variables climáticas a lo largo de los últimos 35 años. Seguidamente se ha analizado si la edad de los individuos influía en su crecimiento. Y finalmente, se ha determinado si cambios en las variables climáticas se

correlacionaban con cambios en el crecimiento de los individuos durante el período estudiado.

Los resultados obtenidos indican que ha habido un aumento significativo en la temperatura media y en la temperatura mínima durante los años estudiados, sea cual sea la variable utilizada (media anual, media del período marzo-agosto o media del mes de abril). También se ha observado que la edad influía significativamente en la anchura de los anillos de los individuos y en su diámetro. Finalmente, se ha podido observar que la disminución en el BAI de las muestras extraídas en la Reserva Natural durante el período de estudio se ha correlacionado significativamente con el aumento en la temperatura media del período de crecimiento de la haya, pero sobretodo con el aumento en la temperatura mínima, ya sea anual, del período de crecimiento de la haya (marzo-agosto) o del mes de abril.

**Palabras clave:** *Fagus sylvatica*, dendrocronología, anillos de crecimiento, cambio climático, incremento del área basal

## **ABSTRACT**

The present research is focused on the dendrocronologic study of the climate change effect on beech-growth (*Fagus sylvatica*), in the Fageda d'En Jordà (Garrotxa). Two zones have been studied in function to their protection regime: the first catalogued as a Partial Nature Reserve (public managing) and the second catalogued as a Nature Park (private managing). The climatic variables chosen are the median temperature, the maximum temperature, the minimum temperature and precipitation. These climatic variables have been analysed considering different periods: annual, beech growing period (from March to August) and in the middle of beech growing period (April). The variables of growth studied are the width of the rings, the Increase of Basal Area (BAI) and the diameter. Also the age of individuals has been considered. Firstly, it has been evaluated if there was a variation of the climatic variables along the last 35 years. Straightaway, it has been analysed if there was a relationship between age and individuals growing. Finally, it has been determined if there is a linear regression between the climatic variables and the variables of individuals growth in the studied periods.

The results obtained, indicate a significant increase in median temperature and in minimum temperature along the years studied, in all variables used (annual median, median of growing period March-August, or April median). It has also been observed a significant influence of individuals age on their ring width and their diameter. Finally it has been possible to notice a BAI reduction in the Natural Reserve due to the growing period median temperature increase, but above all due to the annual, beech growing period (March-August) or April minimum temperature increase.

**Keywords:** *Fagus sylvatica*, dendrocronology, growth rings, climate change, basal area increment

## ÍNDEX

<b>1. INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>5</b>
1.1 Hipòtesis.....	8
<b>2. OBJECTIUS</b> .....	<b>8</b>
<b>3. GOALS</b> .....	<b>9</b>
<b>4. MATERIAL I MÈTODES</b> .....	<b>9</b>
4.1 Àrea d'estudi.....	10
4.2 Disseny experimental .....	11
4.3 Anàlisi de dades .....	12
4.4 Criteris ètics i de sostenibilitat .....	13
<b>5. RESULTATS</b> .....	<b>13</b>
<b>6. DISCUSSIÓ</b> .....	<b>21</b>
<b>7. CONCLUSIONS</b> .....	<b>23</b>
<b>8. CONCLUSIONS</b> .....	<b>24</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>26</b>

## 1. INTRODUCCIÓ

Diversos estudis se centren en l'avaluació de l'efecte que tenen les variacions en la precipitació i temperatura, lligades al canvi climàtic, sobre el desenvolupament i creixement de diferents espècies arbòries. No obstant això, encara hi ha molt desconeixement sobre com el canvi climàtic està afectant el creixement de les espècies arbòries de la regió Mediterrània, especialment aquelles més vulnerables en trobar-se al límit de la seva distribució. El present estudi es basa en l'avaluació de l'efecte del canvi climàtic sobre el desenvolupament del faig (*Fagus sylvatica*), una espècie té el límit meridional de la seva distribució al Nord de la Península Ibèrica.

El canvi climàtic comporta variacions en la temperatura i les precipitacions lligades a l'emissió antròpica de gasos d'efecte hivernacle. Històricament s'han donat variacions climàtiques cícliques que han comportat canvis en les condicions climàtiques terrestres. Des de l'última glaciació la taxa d'escalfament global era de 0,05 °C/segle. En els darrers 50 anys aquesta taxa ha augmentat fins a 1,3 °C/segle i es calcula que en els propers 100 anys aquesta taxa pot arribar a sobrepassar els 5 °C/segle<sup>18</sup>. L'"Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC, 2013) en el seu 4t informe confirma que s'estan donant canvis, a escala global i regional, en el clima a llarg termini<sup>6</sup>.

Aquest augment de la temperatura pot comportar el desplaçament de les àrees de distribució de moltes espècies animals i vegetals, com seria el cas del faig, cap a latituds o altituds més elevades. També és cert que en zones de latituds temperades i del nord, l'escalfament global pot comportar un increment en el creixement dels arbres, fet que entra en conflicte amb la disponibilitat d'aigua, que en pot limitar el creixement en casos d'estrès hídric. Aquest fet es dona perquè l'augment en la temperatura fa augmentar l'evapotranspiració, podent induir estrès hídric en cas que l'augment de la temperatura no vagi lligat amb un augment de la disponibilitat d'aigua. Alhora, majors concentracions de CO<sub>2</sub> augmenten l'eficiència en l'ús de l'aigua per part dels vegetals, permetent a l'arbre estalviar aigua millorant l'estrès hídric. La unió d'aquests factors, que sovint son de caràcter oposat, dificulta la predicció dels efectes que té el canvi climàtic sobre el desenvolupament dels vegetals. Per aquest motiu, una bona manera de predir els efectes a llarg termini del canvi climàtic sobre el desenvolupament dels vegetals, és l'ús dels anells de creixement. En les espècies en les quals cada anell correspon al creixement de l'individu en un any, el creixement dels anells pot esser influït per les condicions climàtiques. Si es troba una relació entre el creixement (estimat mitjançant l'estudi de la mida dels anells) i la climatologia, es pot preveure que passarà amb el desenvolupament de les espècies arbòries en un futur<sup>13</sup>. Aquesta tècnica es coneix com a dendrocronologia.

Una compilació de 47 estudis sobre el creixement dels arbres, 7 dels quals relacionaven el creixement de l'arbre amb l'eficiència en l'ús de l'aigua dels individus, van concloure que l'augment de la capacitat d'embornal de carboni i la millora en l'ús de l'aigua, no eren suficients per augmentar el creixement<sup>5</sup>. Possiblement aquests resultats venen donats per situacions d'estrès hídric, ja que la variació de les precipitacions anuals és molt més acusada en les zones meridionals de la regió mediterrània. Aquesta situació és recurrent als boscos mediterranis ja que el seu clima dona lloc a períodes d'estrès hídric a l'estiu. Els

escenaris futurs de canvi climàtic preveuen un augment de la temperatura, i un canvi en la distribució de les precipitacions, amb una reducció de les precipitacions especialment marcada a l'estiu<sup>6</sup> fet que pot afectar la viabilitat a llarg termini de moltes espècies tant animals com vegetals. Alhora, el creixement dels arbres no només es veu afectat per variacions climàtiques, sinó que també es veu influenciat per les característiques orogràfiques i hidrogeogràfiques de la zona, així com per les relacions de competència inter i intraespecífica. Un altre factor que pot limitar el creixement del faig és l'edat, essent els individus joves els que presenten majors taxes de creixement.

El faig és una espècie arbòria de fulla caduca, que creix en zones amb sòls profunds i madurs. Solen créixer fins a una alçada d'aproximadament 30 m i amb un diàmetre màxim del tronc de més de 1,5 m. Són arbres grans, de capçada ampla i amb un sistema radicular profund. El faig europeu és autòcton de les zones amb clima subatlàntic humit. La seva principal àrea de distribució comprèn zones on la temperatura mitjana al juliol supera els 16 °C i la precipitació anual es troba per sobre els 800 mm. Aquest arbres viuen fins a una edat mitjana d'entre 120 i 160 anys, tot i que en alguns casos poden arribar a viure fins a 300 anys. A les zones centre europees el faig es distribueix en àrees amb elevacions d'entre 500 i 900 m sobre el nivell del mar, mentre que a Catalunya es troben en zones entre 500 i 2.000 m sobre el nivell del mar, concretament hi ha boscos de faig als Pirineus, i a l'estatge montà inferior (Figura 1). A Catalunya aquest tipus de bosc ocupa el 2,31% de la superfície forestal total<sup>20</sup>. Aquesta espècie arbòria, requereix de grans quantitats d'aigua per al seu correcte desenvolupament, per aquest motiu les fagedes es localitzen en valls humides. La variació de les precipitacions anuals, molt més acusada en les zones meridionals de l'àrea de distribució del faig indueix a pensar que en un futur els boscos més meridionals de faig puguin tenir problemes per sobreviure, essent una de les espècies que probablement més patirà els efectes del canvi climàtic en les nostres contrades.



Figura 1. Àrea de distribució del faig a Europa<sup>20</sup>.

Donat que a Catalunya la majoria de fagedes es troben per sobre la cota dels 1.000 m, les fagedes presents a cotes més baixes (com la Fageda d'en Jordà) es poden veure més afectades<sup>3</sup>, si tenim en compte les condicions climàtiques que requereix el faig per al seu correcte desenvolupament. Per tant, l'efecte del canvi climàtic sobre la Fageda d'en Jordà pot ser molt més acusat respecte a altres fagedes com podrien ser les del Montseny, o zones més elevades de Catalunya (Figures 2 i 3). D'altra banda, el grau de protecció de les fagedes també pot influir en l'efecte del canvi climàtic sobre aquestes, ja que, per exemple, s'ha vist que les tales poden afavorir el creixement dels individus que queden<sup>22</sup>. En concret, a la Fageda d'en Jordà, es poden distingir dues zones amb un grau diferent de protecció: una és considerada Parc Natural i l'altra Reserva Natural Parcial. Al Parc Natural, es realitzen tales periòdiques dels individus, mentre que a la Reserva Natural Parcial no s'hi fan tales.

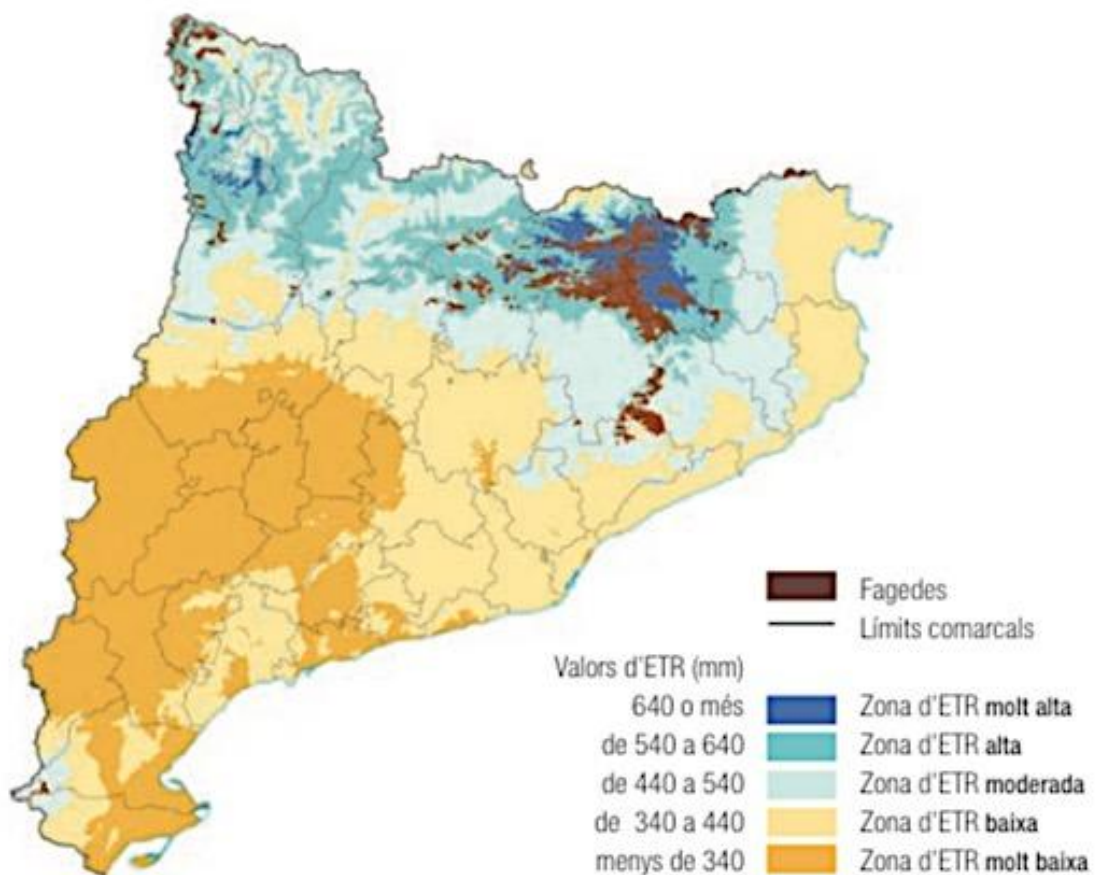


Figura 2. Mapa on es representa la distribució del faig a Catalunya, en funció de l'evapotranspiració real de la zona<sup>3</sup>.

Els darrers anys s'han realitzat diversos estudis que tenen com a objectiu avaluar l'efecte del canvi climàtic sobre el creixement de diferents poblacions d'espècies arbòries. Un estudi realitzat el 2006 sobre el creixement del faig (Jump et. al. 2006) a les poblacions del límit sud de la seva àrea de distribució a Europa, mostra que el seu creixement està fortament limitat per la sequera. En l'estudi, centrat en el creixement d'individus madurs de la població de *Fagus sylvatica* del

Montseny, s'observa que el creixement dels arbres en aquesta zona s'ha reduït durant els darrers 50 anys. Aquesta reducció va començar a inicis del 1975, havent-se reduït fins a un 49% el creixement dels individus el 2003.<sup>8</sup>

Un altre estudi centrat al Montseny avaluava l'efecte que té l'augment del CO<sub>2</sub> atmosfèric sobre el creixement del faig, el seu canvi metabòlic i l'eficiència en l'ús de l'aigua. Finalment l'estudi conclouïa que al límit altitudinal inferior de la fageda, l'augment del metabolisme i la millora en l'eficiència en l'ús de l'aigua dels individus, no evita la reducció del creixement del faig<sup>16</sup>.

Finalment, en un altre estudi que avaluava l'efecte de la sequera sobre la productivitat de les fagedes als Apenins italians, la productivitat dels arbres es va quantificar a partir de l'Increment d'Àrea Basal (BAI) i la sequera i la disponibilitat d'aigua van ser quantificades a partir de l'Índex de Sequera de Palmer (PDSI) i el Z-índex. L'anàlisi dendrocronològic va revelar una limitació del creixement lligada a la manca d'aigua. En l'estudi es va observar un augment de la disponibilitat d'aigua lligat a un increment del BAI entre 1950 i 1970, però en les últimes dècades, amb l'augment de la sequera, el creixement del faig s'ha vist reduït<sup>17</sup>.

## **1.1 Hipòtesis**

En base als antecedents anteriorment esmentats, el present estudi planteja com a punt de partida les següents hipòtesis:

- L'edat condiona significativament el ritme de creixement dels individus de faig, essent major el creixement anual en individus joves.
- S'observen diferències significatives en el ritme de creixement anual en funció del règim de protecció de la zona estudiada.
- Hi haurà una relació significativa entre les variables climàtiques i el ritme de creixement anual del faig. S'espera que l'augment de la temperatura i la reducció de les precipitacions tinguin un efecte negatiu sobre el creixement de l'arbre. Aquesta relació però dependrà del règim de protecció de la zona estudiada. Així, s'espera que a la Reserva Natural Parcial els efectes siguin majors que al Parc Natural, ja que l'extracció d'individus al Parc Natural afavoreix el desenvolupament dels peus arboris que es mantenen.

## **2. OBJECTIUS**

L'objectiu principal d'aquest estudi és l'avaluació dels efectes que han tingut les variacions de temperatura i de pluviometria, com a conseqüència del canvi climàtic, sobre el desenvolupament de la població de faig de La Fageda d'en Jordà durant els darrers 35 anys. Per assolir aquest objectiu caldrà també determinar:

- Si l'edat de l'individu condiona el creixement, essent aquest menor en individus de major edat.
- Si hi ha hagut canvis significatius en la temperatura i en la precipitació en la zona estudiada durant els darrers 35 anys.



- Si la possible correlació entre el creixement dels arbres i el canvi climàtic (canvis en la temperatura i en la precipitació) varia en funció del règim de protecció de la zona.

### **3. GOALS**

The main objective of this study is the evaluation of the effects that the variations of temperature and pluviometry, as a consequence of the climatic change, had on the development of the beech population of La Fageda d'en Jordà over the last 35 years. To attain this objective it will be necessary to determine:

- If the age of the individuals affects its growth, with older individuals having a lower growth.
- If there have been significant changes in the temperature and in the pluviometry in the studied zone over the last 35 years.
- If the possible correlation between the growth of the trees and the climatic change (changes in temperature and in pluviometry) varies depending on the regime of protection of the studied zone.

### **4. MATERIAL I MÈTODES**

La zona d'estudi es localitza a la comarca de la Garrotxa, i compren els municipis d'Olot, Santa Pau i Les Preses. La fageda s'estén des de la carretera d'Olot a Santa Pau, fins al peu de la Serra del Corb, amb una superfície de 200 ha i una altura de 550 m respecte el nivell del mar. Donades les característiques de l'orografia de la zona, es creen unes condicions climàtiques particulars, ja que les cingleres que l'envolten redueixen les hores d'insolació. El clima de la Garrotxa és Mediterrani de Muntanya Humida, presenta una elevada pluviometria, i la influència mediterrània dóna un règim de temperatures suaus. La temperatura mitjana anual és de 12,4 °C, i la pluviometria anual pot arribar a ser superior als 1.000 mm, essent sempre superior als 850 mm (Figura 4).<sup>15</sup> La zona està inclosa dins el Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa. El bosc de faig és conegut com La Fageda d'en Jordà i és una de les 28 reserves naturals que conformen el Parc Natural. El bosc creix sobre una colada de lava provinent de l'erupció del volcà Croscat.<sup>19</sup>

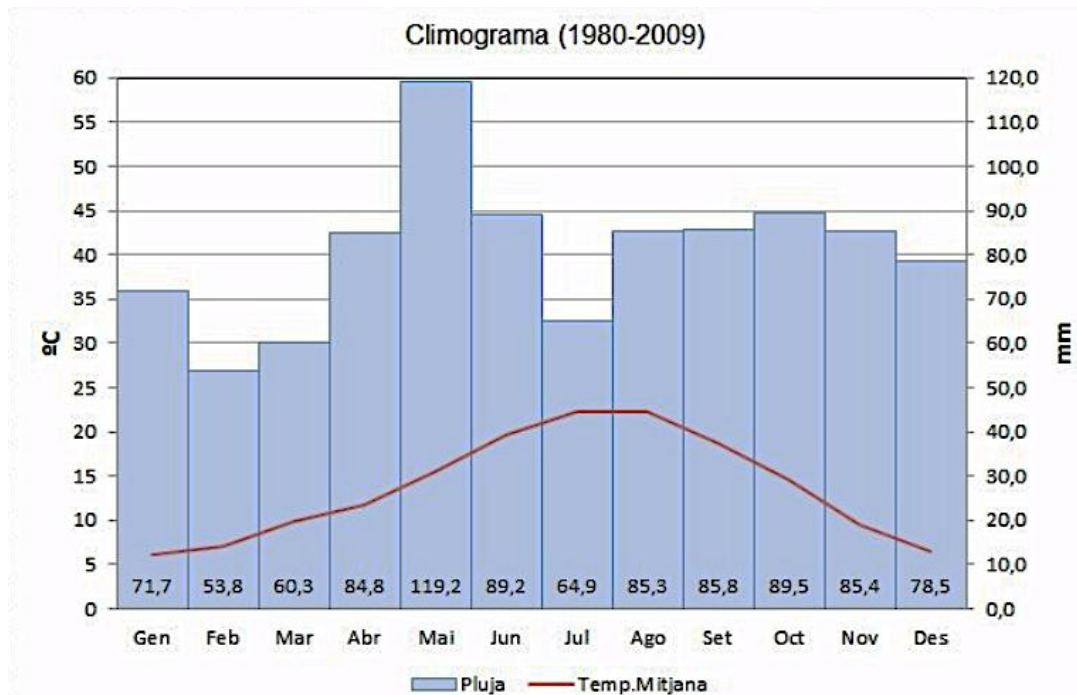


Figura 3. Climograma de la ciutat d'Olot per al període 1980-2009.

#### 4.1 Àrea d'estudi

L'Estudi s'ha centrat en dues zones de la Fageda d'en Jordà, incloses dins el Parc Natural de La zona Volcànica de la Garrotxa. La primera zona està catalogada com a Reserva Natural Parcial (zona P1), essent de caràcter públic, mentre que la segona, catalogada com a Parc Natural (zona P2), és en la seva major part de propietat privada (Figura 5). S'han determinat dues zones de mostreig degut a que en la zona privada del Parc Natural es realitzen estassades dels individus, cosa que fa que els individus actualment presents en aquesta zona siguin de menor edat respecte els de la zona inclosa dins la Reserva Natural.

El Parc Natural de la Fageda d'en Jordà va ser creat l'any 1983, presenta una superfície total de 15.309,4 ha, de les quals 1.180,42 ha estan dividides en 28 Reserves Naturals. Un 96,78% de la superfície total del Parc és de propietat privada.<sup>9</sup>

La Reserva Natural Parcial de la Fageda d'en Jordà i el Volcà del Puig Jordà va ser creada el 2010, i la conformen un total de 260,23 ha. A la Reserva predomina una coberta vegetal arbòria densa, i només hi ha 20 finques. Aquesta zona és considerada zona d'interès excepcional ja que correspon a un dipòsit de lava, sent el sòl que la conforma del tipus andisòl i la fageda del tipus acidòfil, per la qual cosa és considerada com a hàbitat d'interès comunitari.<sup>23</sup>

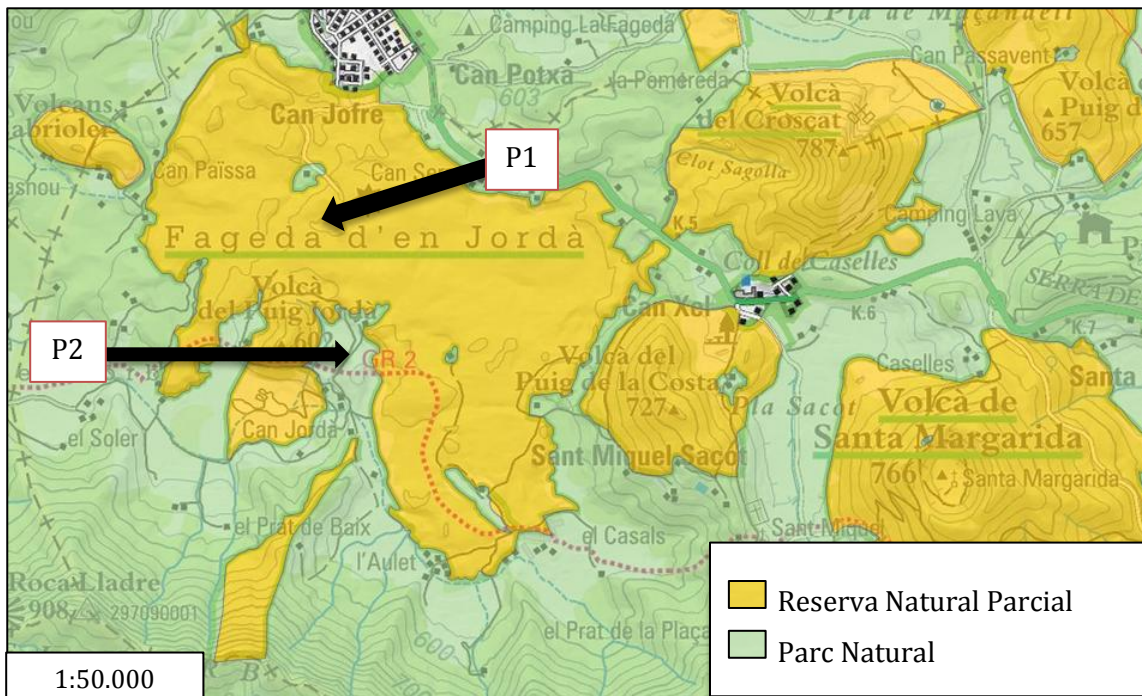


Figura 4. Mapa de la zona d'estudi on P1 i P2 corresponen a la localització de les dues zones estudiades.

#### 4.2 Disseny experimental

Es disposava de 10 mostres provinents de la zona P1 (Reserva Natural Parcial) extretes per estudiants de les pràctiques de l'assignatura "Resposta de la Vegetació i la Fauna al Canvi Climàtic" durant el període 2013-2015. També es disposava de 4 mostres provinents de la P2 extretes durant el període 2016-2017 en aquestes mateixes pràctiques. Les mostres de la zona P2 (Parc Natural) s'han completat amb 6 mostres extretes l'any 2018 durant la realització d'aquest TFG.

La totalitat de les mostres s'ha extret durant el període entre novembre i febrer de cada any, època de l'any en què el creixement de l'arbre és nul; d'aquesta manera es pot assegurar que l'últim anell que presenta l'arbre correspon al darrer any i que aquest és complet. Un cop definida la zona d'estudi el mostreig ha estat aleatori, evitant extreure mostres d'individus ja mostrejats. Les mostres s'han extret mitjançant una barrina de Pressler, la qual permet extreure una mostra cilíndrica del tronc de l'arbre coneguda com a "core", sense danyar l'individu. Per tal d'evitar possibles infeccions per fongs, bacteris, o paràsits, un cop extret el "core" l'orifici es cobreix amb un tap de cera. Per tal d'extreure les mostres correctament, cal que es perfori l'arbre a l'alçada del pit, aproximadament a 1,30 m d'alçada i que la perforació sigui perpendicular al centre dels anells. D'aquesta manera un cop extret el "core" es pot diferenciar clarament quin és l'anell central.

Un cop extrets els "cores", aquests s'han col·locat en llistons de fusta, s'han fixat amb cinta adhesiva o cola de fuster per evitar perdre fragments de la mostra i s'han etiquetat anotant l'any d'extracció, i el diàmetre a l'alçada del pit de l'individu. A l'hora de col·locar les mostres sobre els llistons de fusta, abans d'adherir-les cal comprovar que les fibres (vasos conductors) estiguin

disposades perpendiculars al llistó, ja que sinó no es podrien veure els anells. A més a més, cal polir la superfície del “core” amb l’ajuda de paper de vidre per tal també de que els anells es puguin visualitzar correctament. Finalment l’amplada dels anells s’ha mesurat amb un peu de rei i l’ajuda d’una lupa binocular.

### **4.3 Anàlisi de dades**

Les dades referents a les variables climàtiques s’han extret dels anuaris de dades climàtiques del Servei Meteorològic de Catalunya. Les dades corresponen a l’estació del Servei Meteorològic de Catalunya, de l’estació del Museu dels Volcans i l’estació de l’estació depuradora. Aquestes dades corresponen al període 1980-2015, exceptuant les dades referents a la temperatura mitjana que el període és de 1990 a 2015, ja que no es disposava de dades anteriors.

Les variables climàtiques escollides són de caràcter anual; del període de març a agost, època en que creix l’anell de l’individu; i finalment abril, mes en que l’anell de l’individu està en ple creixement. D’aquesta manera es pot observar si les variacions en les variables climàtiques, tenen una major afectació sobre els individus en funció del període de l’any en que es donin.

Primerament, s’ha realitzat un “skeleton plot” a partir de l’observació d’anomalies en l’amplada dels anells de cada mostra. Per fer-lo, es marquen en un paper mil·limetrat els anells més amples o més estrets respecte els que els envolten. Un cop realitzats tots els “skeleton plots” se superposen fent coincidir els anells de creixement de cada any. Les coincidències en anells anòmals, es marquen per tal de realitzar una sèrie mestra, la qual permet detectar falsos anells. Seguidament s’ha procedit a mesurar els anells de creixement de cada mostra i s’ha calculat el BAI de les mostres per a cada any:

$$BAI = \pi(R_n^2 - R_{n-1}^2)$$

on R=radi de l’arbre a l’alçada del pit (aprox. a 1,30 m) i n=any de formació de l’anell. Amb l’ajuda d’un full de càlcul, s’ha calculat l’amplada mitjana dels anells i el BAI mitjà dels arbres per a cada any, diferenciant entre les dues zones de mostreig. També s’ha calculat l’amplada mitjana dels anells i la mitjana de BAI de cada arbre.

Per tal de comprovar si les variables climàtiques presenten una variació significativa al llarg dels anys s’ha calculat el coeficient de correlació de Pearson. Seguidament, per tal d’avaluar s’ha comprovat si hi havia correlació entre les variables climàtiques analitzades i el creixement dels individus utilitzant el coeficient de correlació de Pearson. Aquest estadístic permet determinar si hi ha una relació lineal significativa entre les variables estudiades.

Per tal de determinar si hi ha diferències en l’edat dels arbres i els valors de creixement en funció de l’origen de la mostra, P1 o P2, s’ha utilitzat la prova no paramètrica de Kruskal-Wallis, donat que els valors de creixement no segueixen una distribució normal, i no s’ha pogut aconseguir homogeneïtat de variàncies en les dades.

#### 4.4 criteris ètics i de sostenibilitat

Durant la realització de tot l'estudi s'ha intentat no perjudicar el desenvolupament i l'estat de salut dels individus mostrejats. Per fer-ho, un cop extrets els "cores" dels individus es protegia l'orifici restant amb cera per tal que pogués cicatritzar correctament la ferida i evitar les infeccions per plagues i fitopàtogens. Alhora, s'ha procurat no deixar residus a les zones estudiades i reutilitzar tot el material possible, i en cas contrari reciclar-lo.

### 5. RESULTATS

En analitzar les diferències en l'edat i les variables de creixement del faig (diàmetre, amplada dels anells i BAI) en funció de la zona on s'ha realitzat el mostreig, s'ha observat que l'edat i el diàmetre de l'individu són els únics paràmetres que presenten diferències significatives entre ambdues zones (p-valor<0,05) (Taula 1).

Taula 1. Recull dels resultats del test Kruskal-Wallis per estudiar les diferències entre les dues zones mostrejades pel que fa a l'edat i a les variables de creixement dels arbres.

	<b>Diàmetre</b>	<b>Edat</b>	<b>Amplada mitjana anells</b>	<b>BAI mitjà</b>
<b>Zona Mostreig</b>	p-valor= 0,00319	p-valor= 0,04117	N.S.	N.S.

Com es pot veure a les figures 6 i 7, els individus de la zona pública presenten diàmetres més grans i són de major edat que els de la zona privada. De fet, la zona privada mostra major amplitud de talles respecte la zona pública. Les edats també mostren un patró similar, en la zona privada els individus mostrejats comprenen un rang d'edat entre aproximadament 50 i 100 anys, mentre que en la zona pública el rang d'edats és entre 70 i 100 anys.

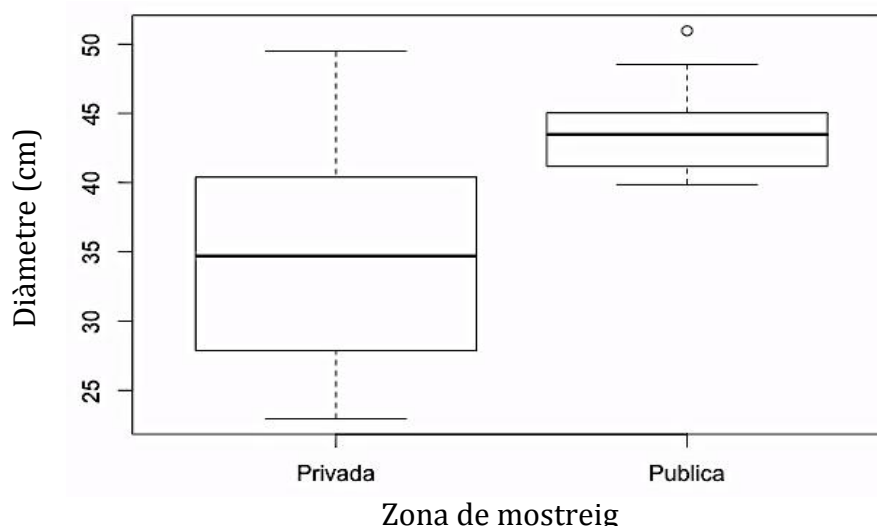


Figura 5. Diàmetre dels individus mostrejats en funció de la zona.

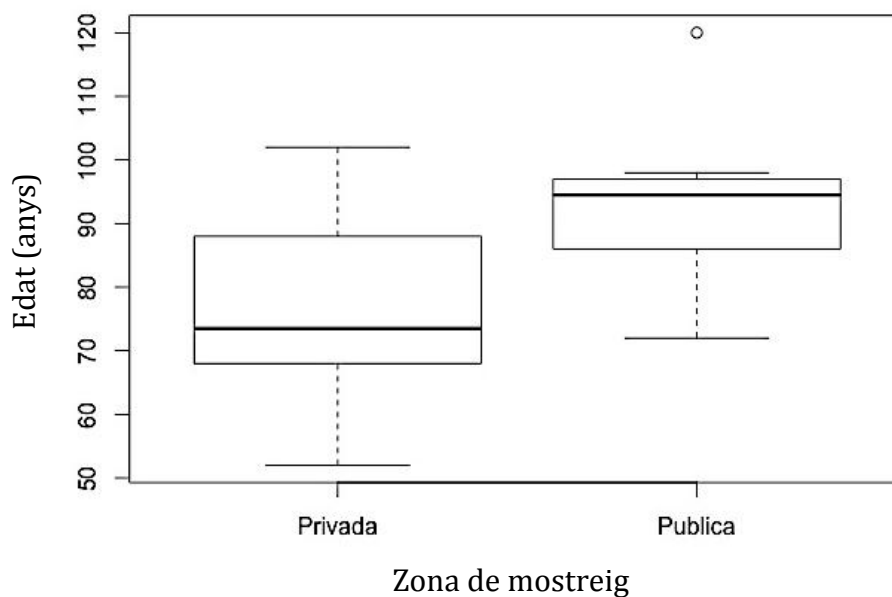


Figura 6. Edat dels individus mostrejats en funció de la zona.

A la zona pública, l'edat presenta una relació lineal significativa amb l'amplada dels anells, i donat que el coeficient de correlació és negatiu, això ens indica que com més edat té l'individu, més estrets són els anells (Taula 2). A les dues zones el diàmetre es correlaciona de forma positiva amb l'amplada dels anells, però, a la zona privada, el diàmetre també té una relació lineal amb el BAI (Taula 3).

Taula 2. Resultats obtinguts en l'anàlisi de correlacions de Pearson entre l'edat i les diferents variables de creixement dels arbres de la zona pública.

Zona Pública				
	Edat	Diàmetre	Amplada mitjana anells	BAI mitjà
Edat				
Diàmetre	N.S.			
Amplada mitjana anells	p-valor= 0,0319, r= -0,6759401	p-valor= 0,02844, r= 0,6862		
BAI mitjà	N.S.	N.S.	p-valor= 0,0004112, r= 0,8984	

Taula 3. Resultats obtinguts en l'anàlisi de correlacions de Pearson entre l'edat i les diferents variables de creixement dels arbres de la zona privada.

Zona Privada				
	Edat	Diàmetre	Amplada mitjana anells	BAI mitjà
Edat				
Diàmetre	N.S.			
Amplada mitjana anells	N.S.	p-valor= 0,002603, r= 0,8356		
BAI mitjà	N.S.	p-valor= 0,002899, r= 0,8309	p-valor= $1,249 \cdot 10^{-5}$ , r= 0,95837	

Pel que fa a l'estudi de la variació de les variables climàtiques al llarg dels darrers 25-35 anys a l'àrea d'estudi, s'ha observat un augment significatiu de la temperatura mínima i de la temperatura mitjana (Taulas 4-6). També s'observa que la temperatura màxima mensual ha augmentat significativament durant l'època de creixement del faig (període comprès entre març i agost) (Taula 5). Per altra banda, en cap cas s'ha observat un canvi significatiu de la precipitació al llarg dels anys d'estudi (Taulas 4-6).

Taula 4. Resultats obtinguts en l'anàlisi de correlacions de les variables climàtiques anuals per al període de temps estudiat.

	<b>Temperatura mitjana anual (°C) (N= 25 anys)</b>	<b>Temperatura mitjana màxima (°C) (N= 35 anys)</b>	<b>Temperatura mitjana mínima (°C) (N= 35 anys)</b>	<b>Precipitació total (mm) (N= 35 anys)</b>
<b>Any</b>	p-valor= 0,004731, r= 0,5363849	N.S.	p-valor= 0,0003005, r= 0,5681827	N.S.

Taula 5. Resultats obtinguts en l'anàlisi de correlacions de les variables climàtiques corresponents al període de creixement del faig (març-agost) per al període de temps estudiat (N = 35 anys).

	<b>Temperatura mitjana març-agost (°C) (N= 25 anys)</b>	<b>Temperatura mitjana màximes març-agost (°C) (N= 35 anys)</b>	<b>Temperatura mitjana mínimes març-agost (°C) (N= 35 anys)</b>	<b>Precipitació març-agost (mm) (N= 35 anys)</b>
<b>Any</b>	p-valor= 0,01905, r= 0,4565489	p-valor= 0,005007, r= 0,4576652	p-valor= $2,672 \cdot 10^{-6}$ , r= 0,6940698	N.S.

Taula 6. Taula resum dels rResultats obtinguts a partir del càlculen l'anàlisi de la correlació de les variables climàtiques corresponents al mes d'abril per al període de temps estudiat .

	<b>Temperatura mitjana abril (°C) (N = 25 anys)</b>	<b>Temperatura mitjana màxima abril (°C) (N= 35 anys)</b>	<b>Temperatura mitjana mínimes abril (°C) (N= 35 anys)</b>	<b>Precipitació abril (mm) (N= 35 anys)</b>
<b>Any</b>	p-valor= 0,002025, r= 0,5770834	N.S.	p-valor= $3,129 \cdot 10^{-7}$ , r= 0,736028	N.S.

En general, la tendència a l'augment de la temperatura és més clara en el cas de la temperatura mínima que en el cas de la temperatura mitjana, havent-se obtingut les millors correlacions (valors del coeficient de Pearson més propers a 1) per a les temperatures del mes d'abril (Figures 8, 9 i 10).

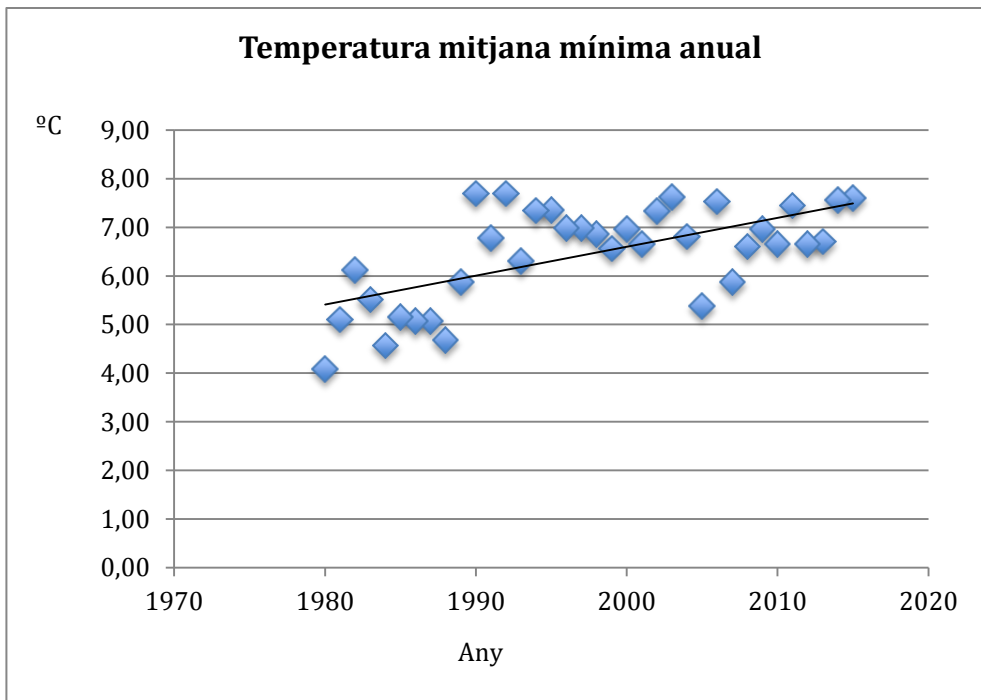


Figura 7. Evolució de la temperatura mitjana mínima anual al llarg dels darrers 35 anys.

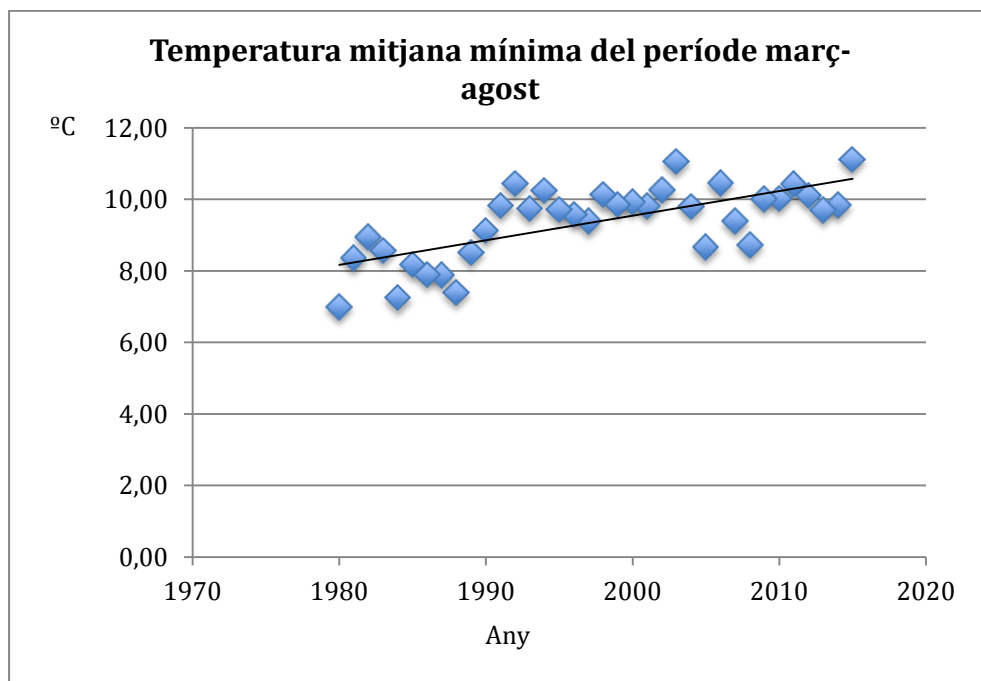


Figura 8. Evolució de la temperatura mitjana mínima del període març-agost al llarg dels darrers 35 anys.



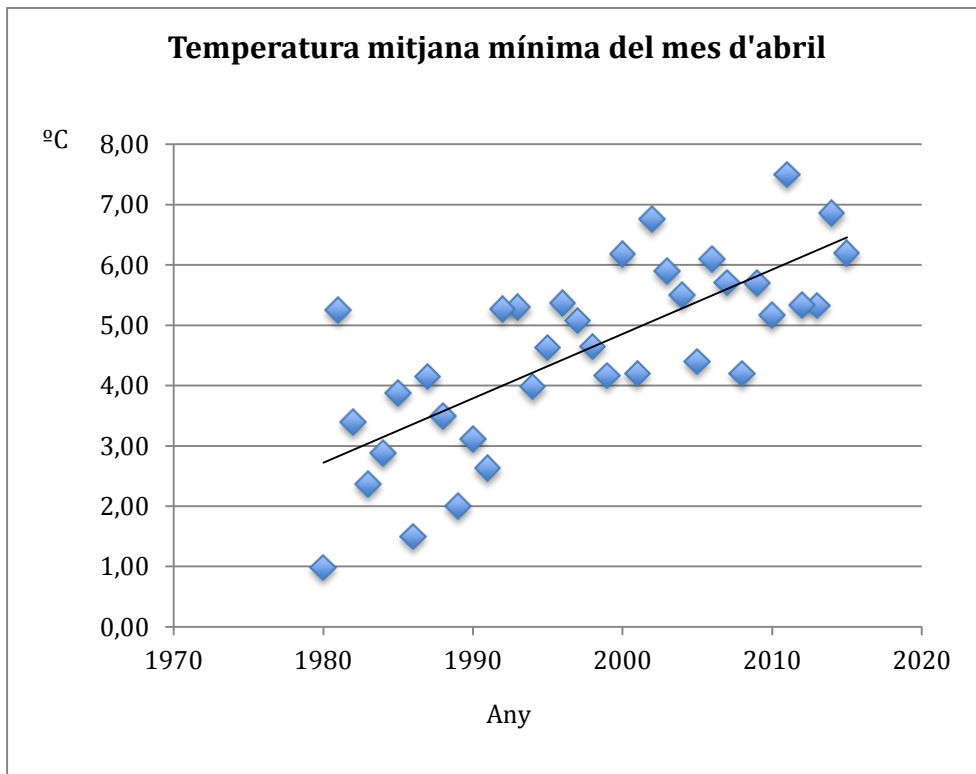


Figura 10. Evolució de la temperatura mitjana mínima del mes d'abril al llarg dels darrers 35 anys

En analitzar l'efecte de les variables climàtiques sobre el creixement del faig, s'ha trobat una clara relació entre la temperatura mitjana mensual mínima i el creixement dels individus de la zona pública (Taula 7-9). Aquesta relació és més acusada els mesos de març a agost, període de creixement del faig. També es pot observar que l'augment de la temperatura mitjana dels mesos de creixement d'aquesta espècie, també presenta un efecte sobre el desenvolupament dels individus, però aquest efecte només es dona a la zona pública (Taula 8). La correlació significativa entre la temperatura mitjana mensual màxima i el BAI a la zona privada (Taula 7) es descarta degut a que no s'ha observat un augment significatiu d'aquesta variable climàtica durant els darrers anys. Cal també tenir en compte que les correlacions entre l'amplada mitjana dels anells i les variables climàtiques poden estar fortament influenciades per l'edat, i, per tant, el paràmetre que realment ens indicaria un possible efecte de les variables climàtiques (descomptant l'efecte de l'edat) sobre el creixement anual de l'arbre és el BAI.

Taula 7. Resultats obtinguts en l'anàlisi de correlacions entre les mitjanes anuals de les variables climàtiques i les variables estudiades de creixement dels arbres a la zona pública i a la zona privada.

	Temperatura mitjana anual (°C)	Temperatura mitjana màxima (°C)	Temperatura mitjana mínima (°C)	Precipitació total (mm)
Zona pública-Amplada anell mitjana	N.S.	N.S.	p-valor= 0,002504, r= -0,4884993	N.S.
Zona pública-BAI mitjà	N.S.	N.S.	p-valor= 0,04916, r= -0,3302512	N.S.
Zona privada-Amplada anell mitjana	N.S.	N.S.	p-valor= 0,000906, r= -0,5291486	N.S.
Zona privada-BAI mitjà	N.S.	p-valor= 0,001007, r= 0,5251477	N.S.	N.S.

Taula 8. Resultats obtinguts en l'anàlisi de correlacions entre les mitjanes de les variables climàtiques per al període març-agost i les variables de creixement dels arbres a la zona pública i a la zona privada.

	Temperatura mitjana març-agost (°C)	Temperatura mitjana màxima març-agost (°C)	Temperatura mitjana mínima març-agost (°C)	Precipitació març-agost (mm)
Zona pública-Amplada anell mitjana	p-valor= 0,0204, r= -0,45212	N.S.	p-valor= 0,00004, r= -0,6241646	N.S.
Zona pública-BAI mitjà	p-valor= 0,03867, r= -0,4077354	N.S.	p-valor= 0,003585, r= -0,4728891	N.S.
Zona privada-Amplada anell mitjana	N.S.	N.S.	p-valor= $6,942 \cdot 10^{-5}$ , r= -0,6728229	N.S.
Zona privada-BAI mitjà	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Taula 9. Resultats obtinguts en l'anàlisi de correlacions entre les mitjanes de les variables climàtiques per al mes d'abril i les variables de creixement dels arbres a la zona pública i a la zona privada.

	Temperatura mitjana abril (°C)	Temperatura mitjana màxima abril (°C)	Temperatura mitjana mínima abril (°C)	Precipitació abril (mm)
<b>Zona pública- Amplada anell mitjana</b>	p-valor= 0,02319, r= -0,443674	N.S.	p-valor= 0,000126, r= -0,5956588	N.S.
<b>Zona pública- BAI mitjà</b>	N.S.	N.S.	p-valor= 0,006303, r= -0,4467704	N.S.
<b>Zona privada- Amplada anell mitjana</b>	N.S.	N.S.	p-valor= 0,0001045, r= -0,601455	N.S.
<b>Zona privada- BAI mitjà</b>	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Pel que fa al BAI, s'observa que l'increment en la temperatura mitjana del període març-agost, així com en les temperatures mínimes, ha tingut un efecte negatiu sobre el BAI dels individus de la zona pública (Taules 7-9, Figures 14-17), però no en els de la zona privada.

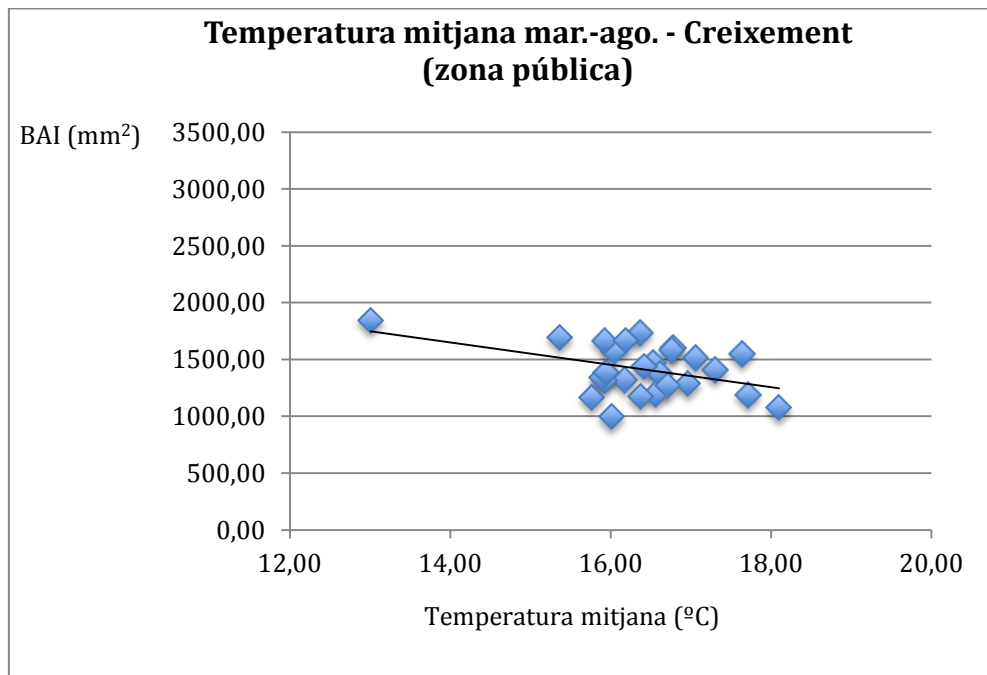


Figura 11. Relació entre la temperatura mitjana mensual del període de creixement del faig (març-agost) i el BAI del faig a la zona pública.

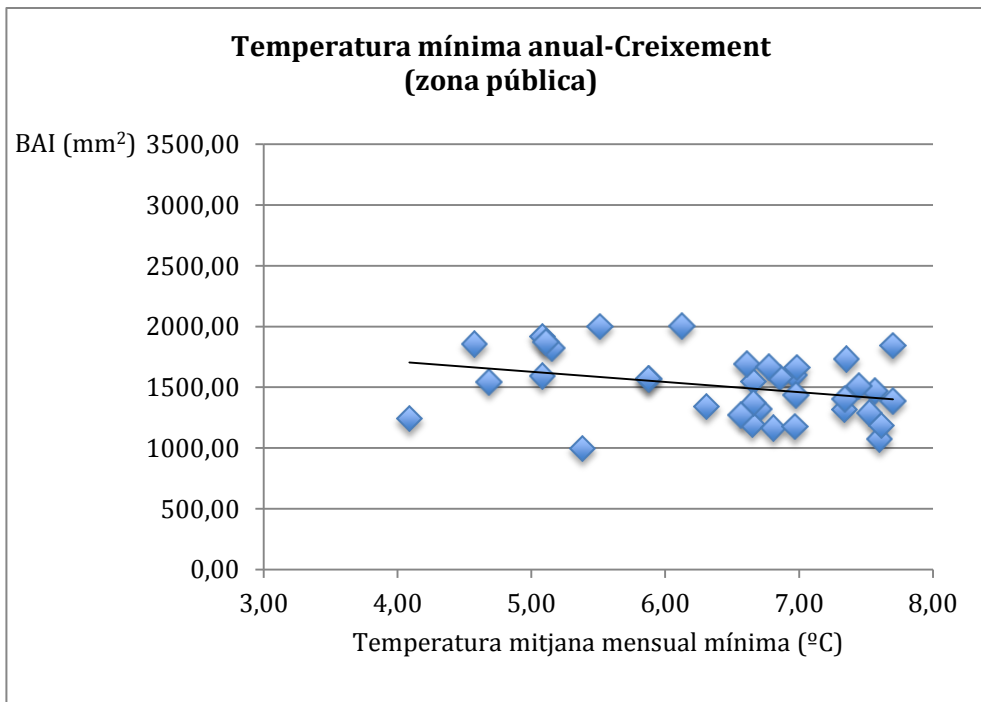


Figura 12. Relació entre la temperatura mínima anual i el BAI del faig a la zona pública.

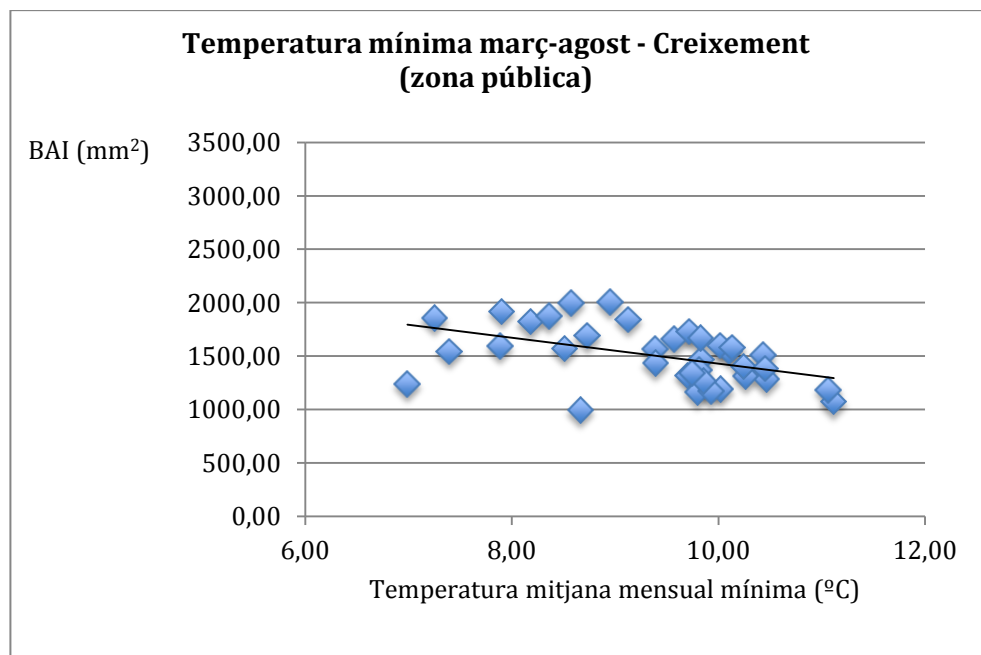


Figura 13. Relació entre la temperatura mitjana mínima del període de creixement (març-agost) i el BAI del faig a la zona pública.

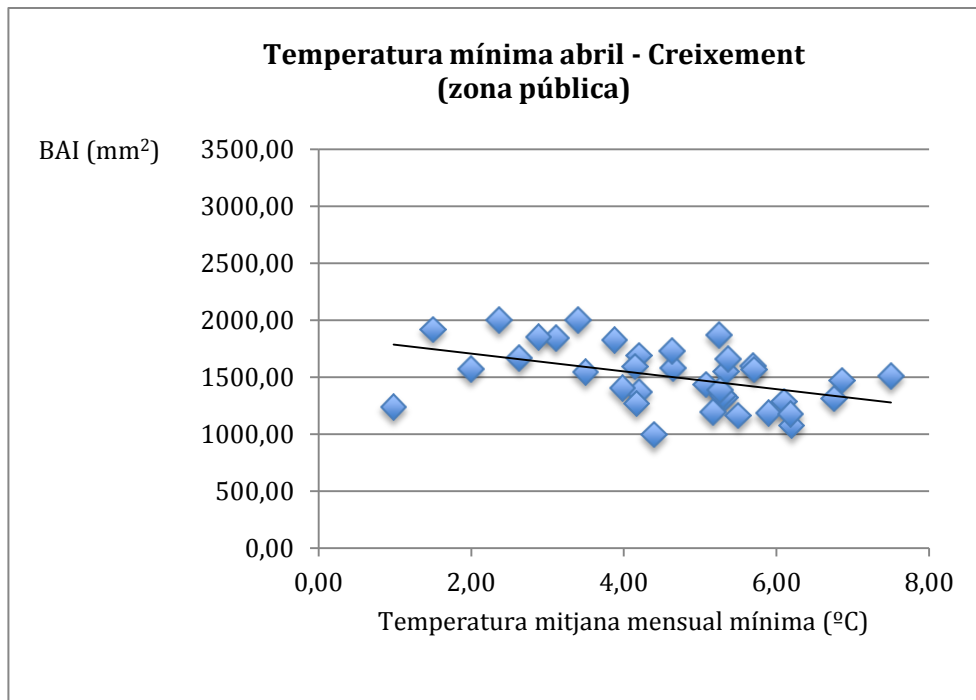


Figura 14. Relació entre la temperatura mitjana mínima del mes d'abril i el BAI del faig a la zona pública.

## 6. DISCUSSIÓ

Els resultats obtinguts indiquen que, tal com es va plantejar en la primera hipòtesis d'aquest estudi, l'edat té un efecte sobre el creixement dels individus de la zona pública, en concret sobre l'amplada de l'anell, de manera que, a mesura que els individus es fan grans, disminueix l'amplada dels anells. Aquesta correlació no s'observa en els individus de la zona privada, possiblement degut a que són individus més joves i que la tala neutralitza el possible efecte de l'edat.

No s'han observat diferències en l'amplada dels anells, ni en el BAI, en funció de la zona estudiada, tot i que sí que s'ha observat una diferència significativa en l'edat i el diàmetre. Aquest resultat indiquen que tot i que el creixement anual és similar en ambdues zones, donat que a la zona privada els individus són més joves, presenten menys anells i, per tant, el seu diàmetre és inferior.

D'acord amb els informes del Servei Meteorològic de Catalunya (BAIC-2016), en el present estudi s'ha observat que, al llarg dels darrers 25-35 anys, no hi ha hagut, a l'àrea d'estudi, una variació significativa en la quantitat de precipitació. D'altra banda, s'ha observat un augment significatiu de la temperatura mitjana i de la mitjana de les temperatures mínimes mensuals, al llarg de l'any, durant el període de creixement del faig (març-agost), i al mes d'abril, cosa que també estaria d'acord amb els resultats obtinguts pel Servei Meteorològic de Catalunya (BAIC-2016)<sup>21</sup>. En canvi, la temperatura mitjana màxima mensual no ha presentat variacions estadísticament significatives al llarg dels darrers 35 anys.

A partir dels resultats obtinguts, s'observa que les relacions significatives dels paràmetres de creixement del faig amb la temperatura mitjana i la temperatura mínima són més fortes quan es considera només l'època de creixement d'aquesta espècie. Aquests resultats estan d'acord amb els obtinguts per Linderholm (2001), els quals demostraven que la temperatura en l'època de creixement del

pi roig era el principal factor limitant del seu creixement, tant en condicions de sequera com d'humitat<sup>11</sup>.

Per tal d'evitar la interferència de l'edat sobre els resultats obtinguts, s'han descartat les correlacions significatives relatives a l'amplada dels anells, centrant la discussió sobre les correlacions significatives obtingudes amb el BAI. S'ha comprovat que l'augment de la temperatura mitjana, però especialment de la temperatura mínima, durant el període de creixement del faig té un efecte negatiu sobre el BAI dels individus de la zona pública de la Fageda. Altres estudis tals com Calvin et. al.,(2013) i Camarero et al. (2015) ja demostraven un efecte negatiu de l'augment de la temperatura sobre el creixement del faig i del pi roig respectivament. L'augment de la temperatura, sense un canvi en les precipitacions, pot comportar un augment de l'evapotranspiració, que es pot haver traduït en un major estrès hídric. Aquest estrès hídric, pot induir un augment de la defoliació i un tancament d'estomes, reduint el creixement dels individus. En un estudi realitzat per Galiano et. al., (2011) sobre la defoliació del pi roig al Pallars Sobirà, es va observar que un efecte directe després d'un període de sequera, era la defoliació dels arbres. Aquesta defoliació anava directament relacionada amb una disminució considerable del creixement de l'arbre<sup>4</sup>. En l'estudi d'Irvine et. al. (2013) s'estudiava el control de la transpiració pels estomes com a resposta del *Pinus sylvestris* a la sequera. Els resultats obtinguts indicaven que després d'un episodi de sequera, el tancament d'estomes afecta negativament el creixement de l'arbre els anys següents<sup>7</sup>. Estudis tals com Kirschbaum, (2004) sobre l'efecte del canvi climàtic sobre la transpiració i fotosíntesis dels vegetals demostraven que en condicions d'augment de la temperatura i limitació d'aigua, el creixement presentava una resposta negativa<sup>10</sup>. Un altre estudi realitzat per Martínez-Vilalta et. al. (2008) analitzava l'efecte de la temperatura i la precipitació sobre el desenvolupament del pi roig al nord-est d'Espanya durant el segle XX. Aquest conclouia que tot i que s'havia observat que hi havia una tendència a l'augment del creixement del pi, que s'atribuïa a un augment de la disponibilitat de nutrients, les prediccions futures preveïen un canvi en aquesta tendència, associat a l'augment de la temperatura i a l'escassetat de precipitació<sup>13</sup>. Lukac et. al. (2010) conclou que, l'augment de la temperatura, en ambients on la humitat no és un factor limitant, suposa un augment del creixement dels arbres ja que es produeix una millor assimilació de nitrogen, gràcies a l'estimulació de la mineralització. No obstant, si aquesta situació es perllonga en el temps, l'autor conclou que aquesta capacitat quedarà esgotada tenint conseqüències negatives sobre el desenvolupament<sup>12</sup>.

Els resultats obtinguts indiquen que la temperatura mínima és un factor que cal tenir en compte perquè pot condicionar el creixement de les poblacions de faig situades a menor altura en zones de clima mediterrani. Així, de les variables estudiades, la temperatura mínima és la única que presenta una correlació significativa amb el creixement en totes les èpoques de l'any estudiades. Aquesta relació pot venir condicionada pel fet que el faig és una espècie molt sensible a les variacions climàtiques i, alhora, les seves condicions climàtiques òptimes es troben a zones més elevades de Catalunya. No s'han trobat estudis que contemplin l'efecte de la temperatura mínima sobre el desenvolupament d'espècies arbòries. La majoria d'estudis que relacionen el desenvolupament dels arbres amb el canvi climàtic se centren en la temperatura mitjana mensual i la precipitació. Un clar exemple és l'estudi realitzat per Messaoud & Chen (2011) en

què s'avalua la relació entre la temperatura mitjana anual, la temperatura mitjana a l'estiu i la precipitació amb el creixement dels arbres.

En relació a l'efecte que té el canvi climàtic sobre el creixement del faig en funció del règim de protecció de la zona, els resultats indiquen que l'extracció de peus a la zona del Parc Natural té un efecte positiu sobre el creixement, ja que els individus mostrejats d'aquesta zona no presenten una afectació negativa causada per l'increment de la temperatura durant el període estudiat. El fet que els individus de faig del Parc Natural siguin més joves que els presents a la Reserva Natural Parcial, també pot haver tingut una repercussió positiva sobre el seu creixement. Aquests resultats avalen la gestió sostenible que s'està portant a terme al Parc Natural i deixa palès que un aprofitament silvícola que alhora permeti la conservació dels valors naturals de la zona és possible. Els resultats mostren que l'extracció de fusta que es porta a terme en aquesta zona té un efecte beneficiós sobre els individus, assegurant la conservació a curt i mitjà termini d'aquest espai natural tant característic de la zona. Per tant, caldria valorar la possible extracció de peus a la Reserva Natural Parcial per tal de pal·liar els efectes del canvi climàtic sobre el faig, amb la finalitat de poder donar major viabilitat a la població present a la zona, i mantenir les espècies característiques típiques de les fagedes acidòfiles considerades hàbitats d'interès comunitari.

## **7. CONCLUSIONS**

- La precipitació i la temperatura màxima mensual no han canviat de forma significativa al llarg dels darrers 35 anys, al contrari del que s'esperava. En canvi, la temperatura mínima i la temperatura mitjana sí que han augmentat de forma significativa durant el període estudiat.
- A la zona pública, l'amplada dels anells disminueix significativament amb l'edat, fet pel qual s'ha descartat aquesta variable de creixement, ja que amb l'estudi realitzat, no és possible discriminar l'efecte sobre el creixement de l'edat de l'efecte causat pels canvis en les variables climàtiques.
- A la zona privada, els paràmetres de creixement estudiats no guarden cap relació amb l'edat dels individus, fet que reforça la idea de que en aquesta zona la competència es veu reduïda gràcies a l'aprofitament silvícola que se'n fa. També el fet de que siguin individus més joves podria explicar aquesta manca de correlació.
- S'ha observat que la temperatura mínima és la variable que més influència té sobre el creixement del faig a la zona pública, sobretot en el l'època de creixement dels individus. Així, l'augment en la temperatura mínima dels darrers 35 anys s'ha correlacionat significativament amb la disminució del creixement experimentat pel faig en aquest període de temps. Aquest fet indueix a pensar que, en un futur, hi pugui haver un desplaçament de l'espècie cap a zones més elevades, com ja està succeint en altres fagedes de Catalunya.
- A la Fageda d'en Jordà, a diferència d'altres fagedes de Catalunya no s'observa un efecte de la precipitació sobre el creixement dels individus, fet

que es relaciona amb les característiques climàtiques de la zona d'Olot. Aquestes característiques permeten que hi hagi un hàbitat de faig acidòfil ben definit, considerat hàbitat d'interès comunitari en una zona on les característiques altimètriques no són les òptimes pel correcte desenvolupament de l'espècie.

- La retirada de peus a la zona privada té un efecte positiu sobre la població de faig ja que en reduir la competència s'afavoreix el seu creixement, fent que aquests individus no es vegin afectats pels canvis en les variables climàtiques. Per tant, aquests resultats indiquen que el model de gestió és un factor important a tenir en compte quan es fa aquest tipus d'estudi.
- Finalment concloure que els anells de creixement del faig es poden utilitzar com a indicadors dels efectes del canvi climàtic sobre aquesta espècie. Així, la dendrocronologia es pot utilitzar per avaluar com s'han vist i com es poden veure afectades les poblacions de faig per les variacions climàtiques, facilitant la protecció de zones sensibles al canvi climàtic com és la Fageda d'en Jordà. Aquesta eina també pot servir per buscar millores en la gestió que permetin pal·liar els futurs efectes dels canvis ambientals sobre les poblacions de faig.

## **8. CONCLUSIONS**

- Pluviometry and maximum temperature have not changed in a significant way along the last 35 years, contrary to what was hoped. However, the minimum temperature and the median temperature has increased in a significant way during the studied period.
- In the public zone, the width of the rings reduces significantly with the age. This variable of growth has been discarded. With analysis carried out, it is not possible to distinguish the effect on the growth induced by age from the effect caused by the changes in the climatic variables.
- In the private zone, the parameters of growth studied do not keep any relation with the age of the individuals, fact that reinforces the idea that in this zone the competence is reduced due to cuttings. Also this lack of correlation can be explained with individuals age, which are younger than the ones in the public zone.
- It has been observed that the minimum temperature is the variable that influences more the beech growth in the public zone, especially in the period of growth of the individuals. Thus, the increase in the minimum temperature of the last 35 years has been correlated significantly with the decrease of the growth experienced by the beech in this period of time. This fact induces to think that, in a future, there can be a displacement of the species towards higher zones, as it is already happening in other beechwoods of Catalonia.
- In the Fageda d'En Jordà, unlike other beechwoods of Catalonia an effect of the pluviometry is not observed on the growth of the individuals, fact that



correlates with the climatic characteristics of the zone of Olot. These characteristics allow a well defined habitat of acidophile beech, considered habitat of community interest in a zone where the height characteristics are not the optimum ones for the correct development of the beech.

- The withdrawal of individuals in the private zone has a positive effect on the beech population because by reducing the competence, its growth is favored. These individuals seems not be affected by climate change. Therefore, these results indicate that the model of management of the Nature Park and the Partial Nature Reserve they are an important fact to take into account.
- Finally beech growing rings can be used as indicators of the effects of the climate change on this species. Thus, dendrocronology allows to evaluate the current state of the population and how are they affected by the climatic variations, facilitating the protection of sensitive zones as it happens in La Fageda d'En Jordà. This tool has to be useful to palliate the future effects will have environmental changes on this forest.

## 9. BIBLIOGRAFIA

<sup>1</sup>Camarero, J. J., Gazol, A., Sancho-Benages, S., i Sangüesa-Barreda, G. (2015). Part of a special issue on plants and climate change: Know your limits? Climate extremes impact the range of Scots pine in unexpected places. *Annals of Botany*, 116. 917-927.

<sup>2</sup>Cavin, L., Mountford, E. P., Peterken, G. F., i Jump, A. S. (2013). Extreme drought alters competitive dominance within and between tree species in a mixed forest stand. *Functional Ecology*, 27. 1424-1435.

<sup>3</sup>CREAF (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals) (2013). *Les Fagedes: Manuals de Gestió d'hàbitats*. Barcelona: Diputació de Barcelona.

<sup>4</sup>Galiano, L., Martínez-Vilalta, J., i Lloret, F. (2011). Carbon reserves and canopy defoliation determine the recovery of Scots pine 4 yr after a drought episode. *New Phytologist*, 190. 750-759.

<sup>5</sup>Granda, E., Rossatto, D. R., Camarero, J. J., Voltas, J., i Valladeras F. (2014). Growth and carbon isotopes of Mediterranean trees reveal contrasting responses to increased carbon dioxide and drought. *Global Change Biology*, 174. 307-317.

<sup>6</sup>IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) (2013). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge (Regne Unit) i Nova York (Estats Units).

<sup>7</sup>Irvine, J., Perks, M. P., Magnani, F., i Grace, J. (1998). The response of *Pinus sylvestris* to drought: stomatal control of transpiration and hydraulic conductance. *Tree Physiology*, 18. 393-402.

<sup>8</sup>Jump, A. S., Hunt, J. M., i Peñuelas, J. (2006). Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology*, 12. 2163-2174.

<sup>9</sup>Junta de Protecció de la Zona Volcànica de la Garrotxa. (1987). *Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa: Memòria d'Actuació*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Política Territorial i Obres Públiques.

<sup>10</sup>Kirschbaum, M. U. F. (2004). Direct and Indirect Climate Change Effects on Photosynthesis and Transpiration. *Plant Biology*, 6. 242-253.

<sup>11</sup>Linderholm, H. W. (2001). Climatic influence on Scots pine growth on dry and wet soils in the central Scandinavian mountains, interpreted from tree-ring width. *Silvia Fennica*, 35(4). 415-424.

<sup>12</sup>Lukac, M., Lagomarsino, A., Calfpietra, C., i Loreto, F. (2010). Global climate change and tree nutrition: Effects of elevated CO<sub>2</sub> and temperature. *Tree Physiology*, 30(9). 1209-1220.

- <sup>13</sup>Martinez-Vilalta, J., Lopez B. C., Adell, N., Badiella, L., i Ninyerolas M. (2008). Twentieth century increase of Scots pine radial growth in NE Spain shows climate interactions. *Global Change Biology*, 14. 2868-2881.
- <sup>14</sup>Messaoud, Y., i Chen, H. Y. H. (2011). The Influence of Recent Climate Change on Tree Height Growth Differs with Species and Spatial Environment. *Plos one*, 6(2).
- <sup>15</sup>Palou, O., i Puiggariguer, M. (2009). *Sòls de la Garrotxa: "Zona volcànica i la Vall de Bianya"*. Institució catalana d'estudis Agraris.
- <sup>16</sup>Peñuelas, J., Hunt, J. M., Ogaya, R., i Jump, A. S. (2008). Twentieth century changes of tree-ring  $\delta^{13}\text{C}$  at the southern range-edge of *Fagus sylvatica*: increasing water-use efficiency does not avoid the growth decline induced by warming at low altitudes. *Global Change Biology*, 14. 1-13.
- <sup>17</sup>Piovesan, G., Biondi, F., Di Filippo, A., Alessandrini, A., i Maugeri, M. (2008). Drought-driven growth reduction in old beech (*Fagus sylvatica* L.) forests of the central Apennines, Italy. *Global Change Biology*, 14. 1-17.
- <sup>18</sup>Pittock, A. B. (2009). *Climate Change: The Science, Impacts and Solutions*(2a ed). Collingwood: CSIRO.
- <sup>19</sup>Reserva Natural de la Fageda d'en Jordà. (s.d.) Recupere de <http://ca.turismegarrotxa.com/territori-i-natura/parc-natural-i-espais-protigits/parc-natural-de-la-zona-volcanica-de-la-garrotxa/reserva-natural-de-la-fageda-d-en-jorda/>
- <sup>20</sup>Schweingruber, F. H. (1993). *Trees and Wood in Dendrocronology: Morphological, Anatomical and Tree-Ring Analytical Characteristics of trees Frequently Used in Dendrochronology*. Berlin: Springer-Verlag.
- <sup>21</sup>Servei Meteorològic de Catalunya. (2016). *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics: Any 2016*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat.
- <sup>22</sup>Spittlehouse, D. L., i Stewart, R. B. (2003). Adaptation to climate change in forest management. *BC Journal of Ecosystems and Management*, 4(1). 1-11.
- <sup>23</sup> Carceller, X., Mayor, X., Garcia, J., Belmonte, R., Campos, M., Zambrano, G., Gonzalez, E., Parra, V., Rodriguez, M., Castillo, J., Camprubí, L., i Pont, R. (2010). *Pla Especial de la Zona Volcànica de la Garrotxa: Memòria*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge.