

Pagoen (*Fagus sylvatica* L.) erantzunak klima aldaketari baso kudeaketaren arabera

Julen Astigarraga¹, Joaquín Calatayud², Paloma Ruiz-Benito¹, Jaime Madrigal-González³, Miguel Ángel Zavala¹, Enrique Andivia⁴, eta Asier Herrero⁵

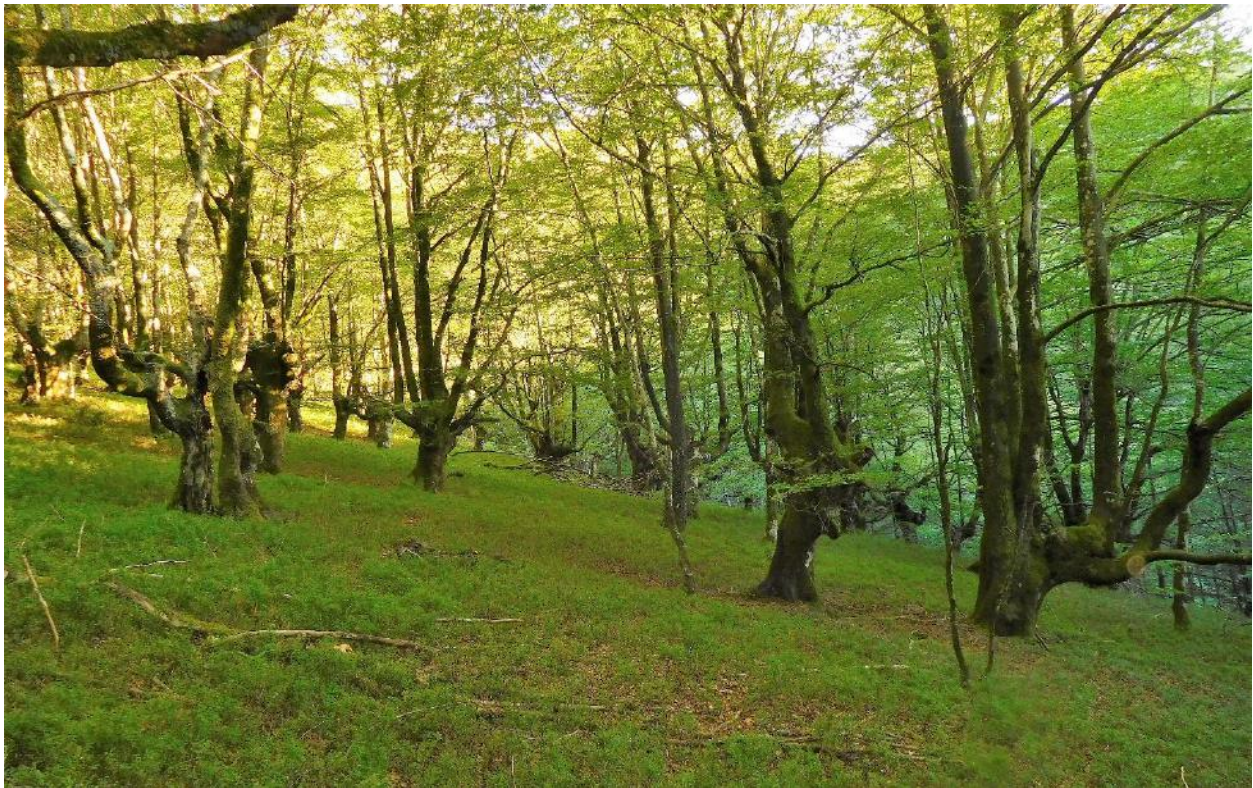
¹Universidad de Alcalá, Grupo de Ecología y Restauración Forestal, Departamento de Ciencias de la Vida, 28805, Alcalá de Henares (Madrid), Espainia

²Departamento de Biología y Geología, Física y Química Inorgánica. ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, C/Tulipán s/n, Móstoles, C.P. 28933, Madrid, Espainia

³EiFAB-iuFOR, Universidad de Valladolid, Campus Duques de Soria sn, 42005, Soria, Espainia

⁴Department of Biodiversity, Ecology and Evolution, Faculty of Biological Sciences, Universidad Complutense de Madrid, 28040, Madrid, Espainia

⁵FisioKlima-AgroSosT Ikerketa taldea, Landareen Biologia eta Ekologia taldea, Farmazia Fakultatea, Euskal Herriko Unibertsitatea, 01006, Gasteiz, Araba



Ikerketaren aipua: Astigarraga, J., Calatayud, J., Ruiz-Benito, P., Madrigal-González, J., Zavala, M. A., Andivia, E., eta Herrero, A. (2023). *Pagoen (Fagus sylvatica L.) erantzunak klima aldaketari baso kudeaketaren arabera*. Oñatiko Udala, Oñati.

AURKIBIDEA

LABURPENA	1
SARRERA	1
HELBURUAK ETA HIPOTESIAK	2
MATERIAL ETA METODOAK	3
Ikerketa eremua	3
Baso kudeaketa ereduaren identifikazioa	4
Laginketa eta dendrokronologia teknikak	5
Baso-egitura	5
Datu klimatikoak	6
Datu analisia	6
EMAITZAK	8
Klimak eta kudeaketa ereduak eragiten dute zuhaitzen hazkuntza sinkronian	8
Basoen egitura aniztasunak baldintzatzen du zuhaitzen hazkuntza sinkronia klima aldaketaren aurrean	9
EZTABAIDA	10
EMAITZEN APLIKAZIOAK ETA KUDEAKETARAKO GOMENDIOAK	12
INFORMAZIO GEHIGARRIA	14
ESKERRAK	15
ERREFERENTZIAK	15

LABURPENA

Mende askotako baso soilketaren ostean, herrialde industrializatu ugarian baso azalera eta biomasa handitzen ari dira XX. mende erdialdetik aurrera. Aldi berean, klima aldaketak basoetan dituen inpaktuak areagotzen ari dira, baina ezer gutxi dakigu iraganeko baso kudeaketaren eta klima aldaketaren elkarrekintzek basoen funtzionamenduan duten eraginaz. Ikerketa honetan grafo teoria eta erregresioak erabiliz, klima aldaketak zuhaitzen hazkuntza sinkronian (hau da, zuhaitz banako ezberdinen artean denboran zehar ematen den zuhaitzen hazkuntzen antzekotasuna) nola eragiten duen kuantifikatu da iraganeko baso kudeaketaren arabera. Horretarako, baso kudeaketa ezberdinak jasan dituzten pagoen (*Fagus sylvatica* L.) hazkuntza datuak aztertu dira espeziearen hegoaldeko banaketa eremuan (Oñati, Gipuzkoa). Lortutako emaitzen arabera, zuhaitzen hazkuntza sinkronia areagotu egin da bero boladak eta udaberri amaierako izozteak areagotzean eta prezipitazioak murriztean. Zuhaitzen hazkuntza sinkroniarik handiena berriki ezarri diren basoetan eman da, zuhaitz handiak eta zuhaitz tamaina heterogeneoak dituzten pagadiak hazkuntza sinkronia askoz txikiagoa izan duten bitartean. Ikerketaren emaitzek zuhaitz handiak eta egitura aldetik heterogeneoak diren basoak mantentzearen garrantzia erakusten dute klima aldaketak basoen produktibitatean dituen eragin negatiboak arintzeko, eta beraz, basoen erresilientzia areagotzeko etorkizuneko klima arriskuen aurrean.

SARRERA

Gizakiak izugarriko aldaketak eragin ditu basoetan eta gaur egun munduko basoen %75 gizakiak eraldutak izan dira (FAO, 2020). Bestalde, klima aldaketaren eraginez batez besteko tenperaturen, prezipitazioen eta muturreko gertakari klimatikoen erregimenak aldatzen ari dira (IPCC, 2021) basoen funtzionamenduan eragin zuzena izanez (Allen et al., 2010). Basoetan gizakiak eragindako inpaktu zuzenek, baso kudeaketaren bidez, eta zeharkako inpaktuek, klima aldaketaren bidez, etorkizuneko baso dinamika baldintzatuko dute neurri handi batean (McDowell et al., 2020). Ondorioz, basoen funtzionamenduan zuzeneko eta zeharkako inpaktu horien arteko elkarrekintza kuantifikatzea lehentasun zientifiko eta politikoa da.

Herrialde industrializatu askok aldaketa nabarmenak jasan dituzte baso kudeaketan XX. mende erdialdetik aurrera. Adibidez, nekazaritza estentsiboaren gainbeherak eta baso kudeaketa tradizionala alde batera uzteak, basoen azalera, zuhaitzen kopurua eta biomasa areagotu ditu (Garbarino et al., 2022; Infante-Amate et al., 2022; Song et al., 2018). Aldaketa horiek basoek klima aldaketari nola erantzuten dioten baldintzatu dezakete (Marqués et al., 2022; Perring et al., 2018). Esaterako, iraganeko baldintza klimatiko epeletan biomasa areagotzeak, basoaren gainbehera ekar dezake baldintza klimatikoak muturrekoagoak bilakatzen diren garaietan (Jump et al., 2017). Hala ere, ez dakigu zehazki zein aldagaik (adibidez, biomasak edo tamaina aniztasunak) areagotu dezakeen basoen zaurgarritasuna klima aldaketaren aurrean.

Adostasun zientifiko zabala dago klima aldaketa zuhaitzen hilkortasun tasak areagotzen ari dela (Astigarraga et al., 2020; Peng et al., 2011; van Mantgem et al., 2009). Hala ere, klima aldaketak zuhaitzen hazkuntzan duen eragina ez dago horren garbi, eragin kontrajarriak izan baititzake (Allen et al., 2015; Díaz-Martínez et al., 2023). Esaterako, berotzeak zuhaitzen hazkuntza areagotu dezake, batez ere CO₂-aren ongarritze efektuaren bidez eta tenperatura baxuek zuhaitzen fotosintesi gaitasunari ezartzen dioten mugak ezabatuz. Dena den, aldi berean,

gehiegizko berotzeak zuhaitzen hazkundea murriztu dezake uraren eskuragarritasuna murriztuz eta karbonoaren arnasketa kostuak handituz (Adams et al., 2009; D'Orangeville. et al., 2018; Peñuelas, Ciais, et al., 2017). Zuhaitzen hazkuntza berebiziko garrantzia duen tasa demografikoa da, izan ere, zuhaitzen bizitasunaren adierazletzat hartzen da (Dobbertin, 2005) eta zuhaitzak hil aurretiko seinale goiztiar gisa erabil daiteke (Cailleret et al., 2019). Zehazki, zuhaitzen hazkuntza sinkronia (hau da, zuhaitz banako ezberdinen artean denboran zehar ematen den zuhaitzen hazkuntzen antzekotasuna) klima aldaketaren aurrean basoen zaurgarritasunaren adierazle ezaguna da (Boden et al., 2014; Shestakova et al., 2016), erantzun sinkronoagoek populazioaren egonkortasuna eta iraunkortasuna murriztu dezaketelako (Tejedor et al., 2020). Azken finean, populazio jakin bateko zuhaitz guztiek klima aldaketari zenbat eta modu sinkronikoagoan erantzun, orduan eta zuhaitz gehiago etor daitezke gainbeheran muturreko gertakari klimatikoen aurrean.

Oñatin eta oro har Iberiar Penintsulan, gizakien eta naturaren mende askotako elkarrekintzek basoen egitura, banaketa eta espezieen osaera guztiz moldatu dituzte, sistema sozioekologiko konplexuak sortuz (Blondel, 2006; Scarascia-Mugnozza et al., 2000). Hala ere, joan den mendearen erdialdetik nekazaritza jarduera ugari alde batera uzteak, basoen hedapena eta dentsitatea areagotzea ekarri ditu (Poyatos et al., 2003; Vilà-Cabrera et al., 2017). Gainera, erregai fosilek egur ikatza ordezkatzearan baso kudeaketa tradizionala alde batera utzi zen, zuhaitzen lepatzea bezalako kudeaketa teknikak ia desagerraraziz (Infante-Amate et al., 2022; Sjölund eta Jump, 2013). Basoetan gizakiak eragindako eraldaketa horiek klima aldaketarekin elkarreagin dezakete, baso iberiarren etorkizuna zeharo baldintzatuz.

HELBURUAK ETA HIPOTESIAK

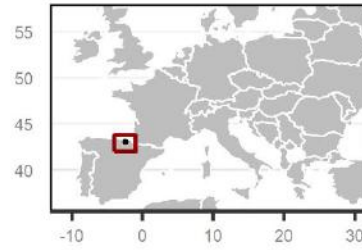
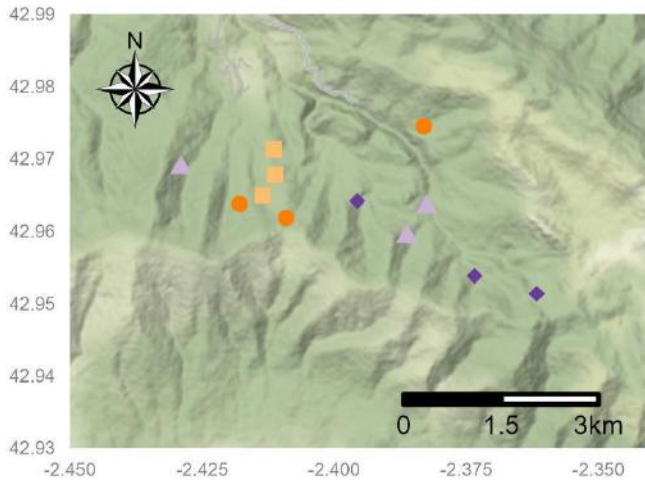
Ikerketa honetan, egungo eta iraganeko baso kudeaketak zuhaitzen hazkuntza sinkronia nola moldatzen duen aztertu zen klima aldaketaren aurrean. Zehazki, baso kudeaketak, klima aldaketak edo biek eragin zuten 1970-2020 bitarteko zuhaitzen hazkuntza sinkronian ikertu zen. Horretaz gain, baso kudeaketak zuhaitzen zein aldagai eraldatzen zuen basoek klimari ezberdin erantzuteko ikertu zen. Ikerketaren hasieran proposatutako hipotesian arabera (i) zuhaitzen hazkuntza sinkronia areagotu egingo zela espero zen baso kudeaketa eredu guztietan prezipitazioak, bero boladak eta udaberri amaierako izozteak zuhaitzen hazkuntzarako gero eta faktore mugatzaileagoak bihurtzen ari direlako; (ii) egitura aniztasun handiagoa zuten baso kudeaketetan zuhaitzen hazkuntza sinkronia txikiagoa izango zela espero zen, egitura aniztasunak zuhaitz ezberdinek klimari ezberdin erantzutea eragin baitezake. Pagoa (*Fagus sylvatica*, L.) erabili zen ikerketa espezie gisa. Pagoa, garrantzi ekonomiko eta ekologiko handiko espeziea da, eta lehortearen eta udaberriko izozteen aurrean zaurgarria da (Archambeau et al., 2020; Cavin eta Jump, 2017; Packham et al., 2012). Hipotesi horiek egiaztatzeko, zuhaitzen hazkuntza sinkronia kuantifikatu zen baso kudeaketa ezberdinak zituzten partzeletan, baldintza biotiko eta abiotikoak antzekoak izanik partzela guztietan. Konkretuki, lau baso kudeaketa ezberdin zituzten (berriki ezarritako tantaiak, aspaldi ezarritako tantaiak, berriki kimatutako zuhaitz motzak eta aspaldi kimatutako zuhaitz motzak) 12 partzela ikertu ziren Oñatin, guztira 240 zuhaitz aztertuz.

MATERIAL ETA METODOAK

Ikerketa eremua

Ikerketa Artia (2059.3) eta Iturrigorri (2059.4) Oñatiko Herri Onurako Mendietako pagadietan gauzatu zen. Pagadi hauek pagoaren mundu mailako banaketaren hegoaldeko mugan kokatzen dira (Packham et al., 2012), Aizkorri-Aratz Parke Naturalean (42°58'I - 2°24'M; 750-1000 m i.m.g.; 1. Irudia). Azterturiko basoen lurzoruak arroka sedimentario detritikoz osaturik daude gehien bat eta klima ozeanikoa da (*Cfb*, Kottek et al., 2006). Urteko prezipitazio totala 932 mm-koa da eta urteko batezbesteko tenperatura 13 °C-koa (klimate datuak easyc1imate izeneko R programazio-lengoiako paketea erabiliz lortu dira; Cruz-Alonso et al., 2021; Moreno eta Hasenauer, 2016; Rammer et al., 2018). Nahiz eta pagoa espezie ugariena izan, Europako baso epeletako beste zenbait espezie ere aurkitu daitezke ikerketa eremuan, hala nola, haritz kanduduna (*Quercus robur* L.), haritz kandugabea (*Quercus petraea* Matt.), gorostia (*Ilex aquifolium* L.) eta otsalizarra (*Sorbus aucuparia* L.).

Azkenengo mendeetan ikertutako pagadiak egur ikatza eta su-egurra ekoizteko kudeatu ziren, eta kudeaketa honen aztarnak gaur egun ikusgai dauden pago motz eta txaradi ugarietan aurkitu daitezke. 1950. hamarkadatik industriarantz egindako trantsizioa dela eta, egur ikatza eta su-egurra erregai fosilengatik ordezkatu ziren, pagadietako zuhaitz dentsitatea eta biomasa handituz. Gainera, nekazal eta abeltzaintza jarduerak nabarmen gutxitu dira ordutik, basoek estaltzen duten azalera areagotuz.



Baso kudeaketa eredua

- Berriki kimatutako zuhaitz motzak
- Aspaldi kimatutako zuhaitz motzak
- ▲ Berriki ezarritako tantaiaik
- ◆ Aspaldi ezarritako tantaiaik



1. Irudia. Ikertutako 12 partzelen kokapen geografikoa erakusten duen ikerketa eremuaren mapa eta baso kudeaketa eredu bakoitzaren argazkiak. Argazkien ertzeko koloreek irudiaren legendan ageri diren baso kudeaketa ereduak adierazten dituzte.

Baso kudeaketa ereduaren identifikazioa

Kudeaketa eredu ezberdinak identifikatzeko, ortoirudiak (hau da, geometrikoki zuzendutako airetiko argazkiak), mendi antolamendu planak eta ikerketa eremuaren ezagutza handia duten aktoreei egindako elkarrizketak erabili ziren. Lehendabizi, berriki eta aspaldi ezarritako baso-sailak bereiztu ziren 1945-46ko ortoirudiak erabiliz (iturria: <https://www.geo.euskadi.eus/comparador-de-ortofotos/webgeo00-content/es/>). Ondoren, 1945-46 baino lehen ezarritako baso-sailen artean tantaiaik eta zuhaitz motzak edo mugarratuak ezberdindu ziren. Tantaiaik, enbor luzedun zuhaitzak dira, enborraren adarkadura altuera handian ematen delarik. Mugarratzea edo lepatzea baso kudeaketa tradizional bat da, adar ugariren ekoizpena faboratzen duena lurzoru mailatik gora, belarjale ugaztunek sortu ditzaketen kalteetatik libre. Mugarratzeak bizi luzeko tamaina handiko zuhaitzak sortu ohi ditu (Sjölund eta Jump, 2013). Zuhaitz motzen artean aspaldi kimatutako zuhaitz motzak (1970 baino lehenago

kimatutakoak) eta berriki kimatutako zuhaitz motzak (1970 baino lehenago kimatutakoak, eta baita 2010 eta 2014an) ezberdindu ziren. Hortaz, lau baso kudeaketa eredu identifikatu ziren: (i) aspaldi ezarritako tantaiak (1945-46 baino lehenago), (ii) berriki ezarritako tantaiak (1945-46 ondoren), (iii) aspaldi kimatutako zuhaitz motzak (azkenengoz 1970 baino lehenago), eta (iv) berriki kimatutako zuhaitz motzak (azkenengoz 2014an).

Laginketa eta dendrokronologia teknikak

2020an baso kudeaketa eredu bakoitzeko hiru ikerketa partzela ezarri ziren, guztira 12 partzela ezarriz (1. Irudia). Laginketa dendrokronologikoa burutu zen 12 ikerketa partzeletan teknika dendrokronologiko estandarrak erabiliz (Fritts, 1976). Partzela bakoitzean 20 banako lagindu ziren. Banako bakoitzean bi egurrezko lagin lortu ziren Pressler ginbaleta baten bitartez, beti ere aldapa saihestuz eta bi laginak kontrako norantzan ateraz. Beraz, guztira 240 banako lagindu ziren (4 kudeaketa eredu x 3 partzela x 20 banako), 480 lagin lortuz. Partzela guztiak 1300 ha-ko eremu batean kokatuta daude, kudeaketa eredu ezberdinak eremu osoan zehar agertzen direlarik (nahiz eta berriki kimatutako pago motzen partzelak bata bestetik gertu egon azken kimaketak zonalde batean bakarrik burutu zirelako). Lagindutako zuhaitz bakoitzaren kokapen geografikoa eta diametroa bularraren altueran (Diameter at Breast Height, DBH; 1,3 m-tan) erregistratu ziren.

Behin laborategian, laginak giro tenperaturan lehortu ziren. Ondoren, laginak egurrezko euskarri batzuetan itsatsi ziren hauen manipulazioa errazteko. Hazkuntza eraztunen ikusgarritasuna maximizatzeko gero eta pikor txikiagoko lizpaperekin (100, 220 eta 320 pikor) lixatu ziren laginak. Jarraian, lagin guztien datazio gurutzatua burutu zen begi hutsez Yamaguchi-k (1991) proposatutako prozedurak jarraituz. Azkenik, hazkuntza eraztunen zabalera neurtu zen trini R programazio-lengoaiko paketearekin (Astigarraga et al., 2022).

Analisiatarako, banako berdineko bi laginen urteko hazkuntza eraztunen zabalaren batezbestekoa kalkulatu zen. Ondoren, hazkuntza eraztunen zabalera azalera basimetrikoaren gehikuntzetara (Basal Area Increment, BAI) bihurtu ziren enborraren sekzioa zirkulartzat hartuz (Biondi eta Qeadan 2008). BAI-a hazkuntzaren aldagai esanguratsua da zuhaitzaren zirkunferentzia gero eta handiagoa izatearen ondoriozko aldakuntza ezabatzen duelako. BAI-a formula honen bidez kalkulatu zen, cm^2 -tan, non r_t eta r_{t-1} hazkuntza eraztun jakin bateko bukaerako eta hasierako erradioak diren:

$$\text{BAI} = \pi (r_t^2 - r_{t-1}^2)$$

Baso-egitura

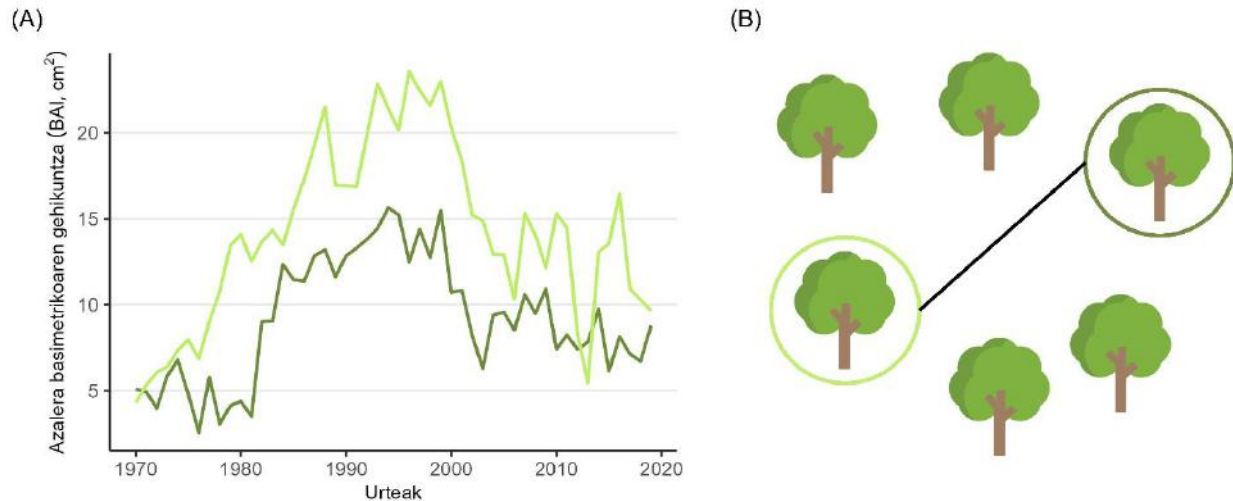
Baso-egitura deskribatzeko lagindutako zuhaitz bakoitzaren inguruan 10 m-ko erradioko azpi-partzela zirkularrak ezarri ziren. Azpi-partzela hauetan zuhaitz heldu (hau da, 1,30 m-tik gorako altuera eta 7,5 cm baino DBH handiagoa duten banakoak) guztien DBH-a, espeziea eta bizirik edo hilda zeuden erregistratu ziren. Datu hauekin partzela bakoitzaren zuhaitz helduen dentsitatea kalkulatu zen.

Datu klimatikoak

Ikerketarako eguneko prezipitazio eta tenperatura maximo eta minimoak erabili ziren, easyclimate R programazio-lengoiako paketearekin bitartez lortutakoak (Cruz-Alonso et al., 2021; Moreno eta Hasenauer, 2016; Rammer et al., 2018). Eguneko datuetatik abiatuta, urteko prezipitazio totala, udaberriko izozte berantiarren kopurua (hau da, 0 °C-tik beherako egunen kopurua udaberri meteorologikoan, martxoaren 1etik maiatzaren 31ra arte) eta bero boladen kopurua (hau da, 32 °C-tik gorako egunen kopurua uda meteorologikoan, ekainaren 1etik abuztuaren 31ra arte). Klima aldagai horiek 1950etik 2020ra arte kalkulatu ziren.

Datu analisia

Zuhaitz banako ezberdinen hazkuntza denbora tarte jakin batean antzekoa denean, beraien artean sinkronia dagoela esaten dugu (2. Irudia). Zuhaitzen hazkuntza sinkronian denborarekin ematen diren aldaketak aztertzeko grafo teoria erabili zen. Grafoak puntu eta lokarrien bidez egituratzen dira. Ikerketa honetan, zuhaitzak puntuak ziren eta zuhaitzen arteko hazkuntza sinkronoak lokarriak. Hazkuntza sinkronia Spearman-en korrelazio koefizienteen bidez neurtu zen, soilik koefiziente esanguratsuak erabiliz ($P < 0,05$). Hazkuntza sinkronia partzela bakoitzeko zuhaitz bikote guztien artean aztertu zen. Partzelako zuhaitzak sinkronikoki hazten direnean, zuhaitzen hazkuntzen grafoak trinkoki konektatuak ageri dira, zuhaitz askok denboran zehar antzeko hazkuntza patroiak erakusten dutenaren seinale. Hortaz, grafoen lokarri dentsitatea edo konektibitatea basoaren hazkuntzaren sinkroniaren indikatzaile zuzena izango da. Sarearen konektibitatea kalkulatzeko behatutako lokarrien (hau da, zuhaitz bikoteen arteko hazkuntza sinkronoak) eta lokarri posible guztien (hau da, zuhaitz bikote guztiak) arteko ratioa erabili zen. Hazkuntza sinkronien aldaketak denboran zehar aztertzeko, partzela guztien grafo-egitura ebaluatu zen ondoz ondoko 20 urteko denbora tarteetan 1970-2020 aldirako. Beraz, denbora tarte eta partzela bakoitzerako grafoak sortu ziren eta beraien konektibitatea kalkulatu zen. Horretaz gain, denbora tarte bakoitzerako zuhaitzen DBH-aren batezbestekoa (hau da, batez besteko tamaina), DBH-aren aldakortasun-koefizientea (hau da, tamainen heterogeneotasuna) eta *Datu klimatikoak* atalean deskribatutako klima aldagaien batezbestekoak kalkulatu ziren.



2. Irudia. Zuhaitzen hazkuntza sinkroniaren adibidea. (A) Bi zuhaitzen azalera basimetrikoaren gehikuntza urtez urte 1970-2020 artean. (B) Bi zuhaitz horien artean lokarri bat ezartzen da (hau da, zuhaitzak lotzen dituen lerro beltza) beraien hazkuntzak ondoz ondoko 20 urteko denbora tartetean modu esanguratsuan korrelazionatuta badaude.

Denboran zeharreko sinkroniaren aldaketa posibleak aztertzeaz gain, 1970-2020 aldiko sinkronia patroien eragile nagusiak identifikatzeko analisiak burutu ziren. Lehenik, kudeaketa ereduak, klima aldaketak edo biek zuhaitzen hazkuntza sinkronian duten eragina aztertu zen erregresioak erabiliz. Zehazki, modelo lineal mistoak erabili ziren ondoz ondoko 20 urteko tartetarako, errorearen banaketa normala onartuz eta partzela zorizko efektu bezala kontsideratuz. Hiru modelo estatistiko eraiki ziren. Lehenengoak klima aldagaiak (hau da, urteko prezipitazio totala, udaberriko izozte berantiarren eta bero boladen kopurua) kontsideratzen zituen efektu finko bezala, bigarrenak kudeaketa eredu ezberdinak kontsideratzen zituen efektu finko bezala, eta hirugarrenak klima aldagaiak eta kudeaketa ereduak kontsideratzen zituen efektu finko modura.

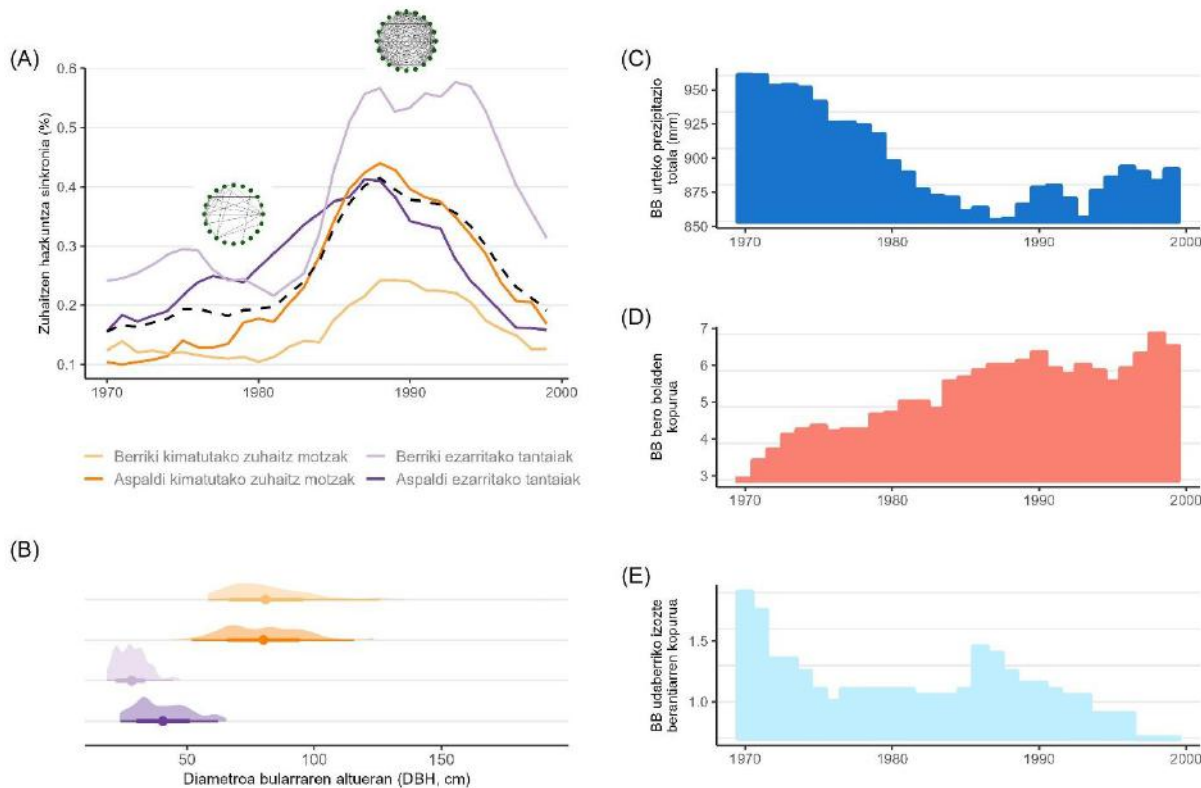
Gainera, kudeaketa ereduak basoen zein aldagairi eragiten dioten identifikatzeko zuhaitzen hazkuntza sinkronian eraginez, beste hiru modelo estatistiko eraiki ziren. Modelo horiek ere ondoz ondoko 20 urteko tartetarako eraiki ziren, errorearen banaketa normala onartuz eta partzela zorizko efektutzat hartuz. Modelo batek klima aldagaiak eta kudeaketa ereduak kontsideratzen zituen efektu finkotzat eta beste batek klima aldagaiak eta baso-egitura aldagaiak (hau da, batz besteko tamaina eta tamainen heterogeneotasuna). Bi modelo horiek konparatuz, kudeaketa ereduak edo baso-egitura zen hazkuntza sinkroniaren eragilea klima aldaketaren aurrean frogatu zen. Gainera, hirugarren modelo batek klima aldagaiak, kudeaketa ereduak eta baso-egitura aldagaiak kontsideratzen zituen efektu finkotzat, izan ere kudeaketa ereduarekin erlazionatuta dauden baina baso-egitura aldagaiak ez diren beste aldagai batzuk ere eragin dezakete hazkuntza sinkronian. Aldagai independente guztiak estandarizatu egin ziren modeloetan sartu aurretik. Estandarizatzean, aldagaien batezbestekoa 0 izatea lortzen da eta desbideratze estandarra 1. Horrela, aldagai independente ezberdinak alderatzea errazagoa izaten da. Modelo estatistikoaren eraikuntza eta diagnostika, `g1mmTMB` (Brooks et al., 2022), `bbm1e` (Bolker eta R evelopment Core Team, 2022), `MuMIn` (Bartoń, 2022) eta `DHARMa` (Hartig, 2022) R programazio-lengoiak paketeekin burutu ziren (v4.2.1.; R Core Team, 2022).

EMAITZAK

Klimak eta kudeaketa ereduak eragiten dute zuhaitzen hazkuntza sinkronian

Klima aldagaiak (hau da, urteko prezipitazio totala, udaberriko izozte berantiarren eta bero boladen kopurua), kudeaketa eredu ezberdinak, eta klima aldagaiak eta kudeaketa ereduak kontsideratzen zituzten modeloak alderatuz, bai klima aldagaiak eta baita kudeaketa ereduak ere eragiten zutela 1970-2020 bitarteko hazkuntza sinkronian ikusi zen. Modeloen konparaketa AICc (Akaike Information Criterion) bitartez egin zen. AICc-k, modelo estatistiko bat zer neurritan egokitzen den sortu den datuetara ebaluatzeko balio du, non modelo batek zenbat eta AICc baxuagoa izan orduan eta egokitzapen hobea esan nahi duen. Kasu honetan, klima aldagaiak eta kudeaketa ereduak kontsideratzen zituen modeloak zuen AICc baxuena ($\Delta AICc$ klima + kudeaketa = 0; $\Delta AICc$ klima = 15,5; $\Delta AICc$ kudeaketa = 189,9). Horretaz gain, modeloen R^2 -ak alderatu ziren. R^2 -a erregresio batean aldagai independenteek (hau da, klima eta kudeaketa) menpeko aldagaiaren (hau da, hazkuntza sinkronia) aldakuntza zenbat azaltzen duen adierazten duen neurri estatistikoa da, non zenbat eta R^2 altuagoak izan, azalpen gaitasun handiagoa adierazten duen. R^2 -a 0 eta 1 arteko eskalan adierazten da, eta 1eko balioak azalpen gaitasun maximoa adierazten du. Klima aldagaiek eta kudeaketak zuhaitzen hazkuntza sinkroniaren bariantzaren antzeko zatiak eta osagarriak azaldu zituzten (R^2 klima + kudeaketa = 0,57; R^2 klima = 0,28; R^2 kudeaketa = 0,29). Zehazki, ikerketaren emaitzek erantzun sinkronikoagoak erakusten zituzten urte lehorretan (3A, C eta 4. Irudiak), eta bero boladak eta udaberriko izozte berantiarrek areagotzean (3A, D, E eta 4. Irudiak).

Zuhaitzen hazkuntza sinkroniaren magnitudea kudeaketa ereduen arabera aldatu zen. Sinkroniarik handiena berriki ezarritako tantaietan ikusi zen eta sinkroniarik baxuena berriki kimatutako zuhaitz motzetan (3. Irudia). Gainera, zuhaitzen hazkuntza sinkronia altuago mantendu zen denboran zehar berriki ezarritako tantaietan beste kudeaketa ereduetan baino prezipitazioak areagotu zirenean eta bero boladen eta udaberriko izozte berantiarren kopurua gutxitu zenean (ikusi 3. Irudian zuhaitzen hazkuntza sinkroniaren beherakada 1990 inguruan kudeaketa eredu guztietan berriki ezarritako tantaietan izan ezik).

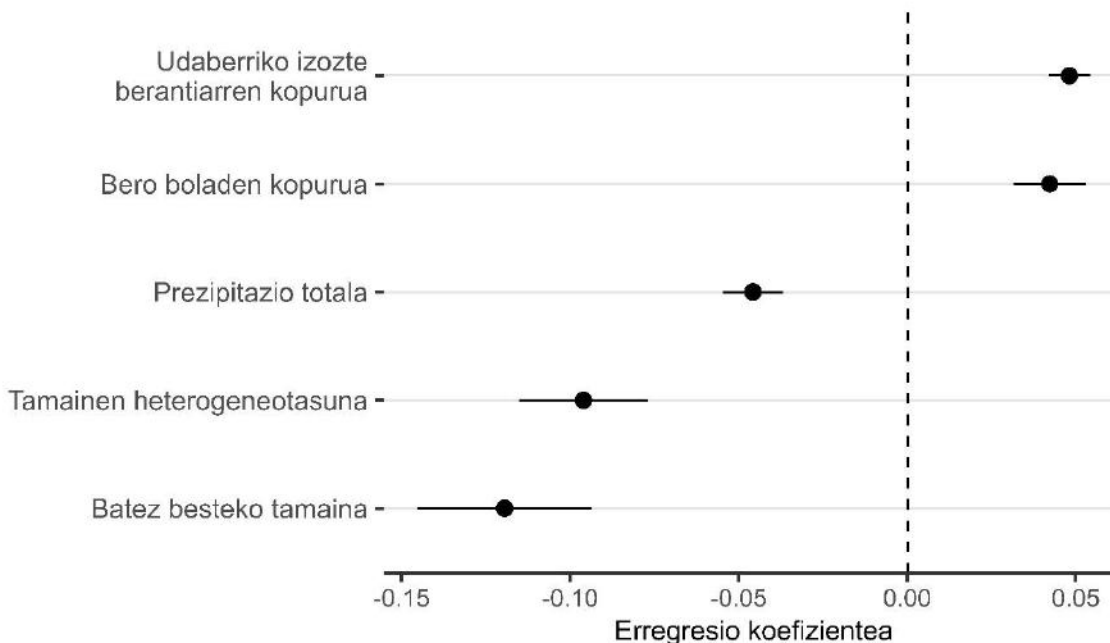


3. Irudia. Zuhaitzen hazkuntza sinkronia baso kudeaketa ereduen, kudeaketa bakoitzaren baso-egituraren eta klima aldagaien arabera. (A) Zuhaitzen hazkuntza sinkronia ondoz ondoko 20 urteko denbora tarteetan 1970-2020 aldirako. Lerro jarraiek baso kudeaketa eredu bakoitzaren batez besteko hazkuntza sinkronia adierazten dute eta lerro ez jarraiek baso kudeaketa eredu guztien batez besteko hazkuntza. Zuhaitzen hazkuntza sinkroniaren bi grafo erakusten dira. Bata sinkronia txikiko aldi baterako (lokarri gutxiko grafoa) eta bestea sinkronia handiko aldi baterako (lokarri askoko grafoa). Kontuan izan behar da bi grafo horiek berriki ezarritako tantaiaien bi 20 urteko denbora tarteri dagozkiena, eta adibide gisa erabiltzen direla zuhaitzen hazkuntza sinkronia grafoen kalkulua eta forma erakusteko. 2000. urtean amaitzen da azken denbora tarte 2000-2020 delako. (B) Kudeaketa eredu bakoitzeko zuhaitzen batez besteko tamaina eta eta datuen %95aren banaketa azaltzen duten dentsitate eta ibiltarte grafikoak. Puntuek batz besteko tamainak irudikatzen dituzte (zentroa), lerro lodiek lehen eta hirugarren kuartilak irudikatzen dituzte (sakabanatzea) eta dentsitateek datuen kurtosia irudikatzen dute (banaketa). (C-E) Batez besteko (BB) prezipitazioa, batez besteko bero boladen kopurua eta batez besteko udaberriko izozte berantiarren kopurua. Batezbestekoak 20 urteko denbora tarte bakoitzerako kalkulatu ziren.

Basoen egitura aniztasunak baldintzatzen du zuhaitzen hazkuntza sinkronia klima aldaketaren aurrean

Hiru modelo alderatu ziren kudeaketa ereduak basoen zein aldagairi eragiten dioten identifikatzeko zuhaitzen hazkuntza sinkronian eraginez: (i) klima aldagai eta kudeaketa ereduena (ii) klima aldagai eta baso-egitura aldagaiena (hau da, batz besteko tamaina eta tamainen heterogeneotasuna), eta (iii) klima aldagai, kudeaketa eredu eta baso-egitura aldagaiena. Bigarrenak eta hirugarrenak eskuratu zuten AICc baxuena ($\Delta AICc$ klima + kudeaketa + baso-egitura = 0; $\Delta AICc$ klima + baso-egitura = 0,6; $\Delta AICc$ klima + kudeaketa = 18,9). AICc baxuena zuten modeloen arteko aldea bi unitate baino txikiagokoa zenez, modelo sinpleena

hautatu zen, hau da, klima eta baso-egitura kontsideratzen zituen modelo, bere R^2 -a 0,53 izanik. Eraitza horiek klima aldaketaren aurrean zuhaitzen hazkuntza sinkronia baldintzatzen duen eragilea basoaren egitura aniztasunarekin erlazionatuta dagoela iradokitzen dute. Zehazki, erantzun sinkronikoagoak azaldu zituzten urte lehorretan, bero bolada eta udaberriko izozte berantiarren kopurua areagotzean, eta zuhaitzen tamaina heterogeneotasun eta batez besteko tamaina txikiko partzelatan (4. irudia).



4. Irudia. Zuhaitzen hazkuntza sinkroniaren klimarekiko eta baso-egiturarekiko sentikortasuna. Zuhaitzen hazkuntza sinkroniaren erregresiorako udaberriko izozte berantiar kopuruaren, bero bolada kopuruaren, prezipitazio totalaren, zuhaitzen batez besteko tamainaren eta tamainen heterogeneotasunaren erregresio koefizientea (puntu) ± 1 errore estandarra (lerroa). Aldagai independenteak estandarizatuta daudenez, erregresio koefizienteek modeloak iragarritako zuhaitzen hazkuntza sinkronia zenbat aldatzen den adierazten du, aldagai independente bakoitza desbideratze estandar unitate bat aldatzen denean. Erregresio koefizientea positiboa denean aldagai independentearen gehikuntzak, menpeko aldagaiaren (hau da, zuhaitzen hazkuntza sinkronia) gehikuntza eragingo du. Aldiz, erregresio koefizientea negatiboa denean aldagai independentearen gehikuntzak, menpeko aldagaiaren murrizketa eragingo du. Errore estandarrek erregresio koefizientearen ziurgabetasuna adierazten du. Zenbat errore estandar handiagoa orduan eta aldagai horren ziurgabetasun handiagoa. Aldagaien baten errore estandarrek 0 balioa ukituz, aldagai horren efektua zuhaitzen hazkuntza sinkronian ziurgabea dela adierazten du.

EZTABAIDA

Ikerketaren emaitzek pagoen hazkuntza sinkronia areagotu egin zela erakusten dute klima aldaketaren inpaktuak areagotzean. Prezipitazio totalen gutxitzeak eta tenperaturarekin erlazionatutako muturreko gertakari klimatikoen gorakadak, emaitzetan jasotako pagoen hazkuntza sinkronia areagotu zuten. Hala ere, baso kudeaketak zuhaitzen hazkuntza sinkroniaren magnitudea baldintzatu zuen baso-egitura aniztasunean emandako aldaketen bidez

(hau da, zuhaitzen batez besteko tamaina eta tamaina heterogeneotasuna). Berriki ezarritako tantaien hazkuntza sinkronia handiak, eta zuhaitz handi eta tamaina heterogeneoen hazkuntza sinkronia txikiak, ondorio zuzenak dituzte basoen kudeaketan; izan ere, emaitza horiek egitura heterogeneoak bultzatu daitezkeela iradokitzen dute basoak baldintza klimatiko berrietara egokitzeko.

Zuhaitzen hazkuntza sinkroniak gora egin zuen lagindutako partzela guztietan prezipitazioak gutxitu eta bero boladak eta udaberriko izozte berantiarrek ugaritu zirenean. Emaitza horrek ikerketaren hasieran planteatu zen lehen hipotesia berresten du. Gainera, bat dator zuhaitzen hazkuntza sinkronian igoerak erregistratu dituzten aurreko ikerketekin klima muturregokoagoa bilakatzean munduko espezie eta baso ezberdinetan (Boden et al., 2014; Gazol et al., 2020; Shestakova et al., 2016). Hazkuntza sinkronian eragiten duten aldagai klimatikoak eskualdeko klimaren arabera aldatu daitezkeen arren (Shestakova et al., 2016), baldintza lehorren eta bero boladen eragina bat dator Europako ipar-mendebaldeko pago populazioetan lortutako emaitzekin (Latte et al., 2015). Era berean, udaberriko izozte berantiarren eraginak zuhaitzen hazkuntza sinkronian bat egiten du izozte berantiarren eragin kaltegarriarekin pagoen hegoaldeko populazioetan (Sangüesa-Barreda et al., 2021). Klima aldaketak eragindako sinkroniaren hazkuntza populazioen zaurgarritasuna aragoztearekin lotuta dago (Boden et al., 2014), zeinak pagoaren bezalako hedapen zabaleko espezieen kasuan, ekosistema osoaren egonkortasuna eta iraunkortasuna arriskuan jar ditzake. Beraz, ikerketa honen emaitzak baso epelen zaurgarritasuna areagotzen ari dela iradokitzen duten aurreko ikerketekin bat datoz, batez ere hegoaldeko banaketa mugetan kokatzen diren populazioen zaurgarritasuna aragoztearekin (Lindner et al., 2010; Millar eta Stephenson, 2015).

Lortutako emaitzek ikerketaren bigarren hipotesia ere berresten dute, izan ere, baso-egitura anitzagoa zuten baso kudeaketetan zuhaitzen hazkuntza sinkronia txikiagoa izan zen klima aldaketaren aurrean. Hainbat eragile proposatu dira, zergatik zuhaitzek klimari ezberdin erantzuten diezaioketen jakiteko baso kudeaketaren arabera; izan zuhaitzen biomasan emandako aldaketak (Jump et al., 2017), egurraren dentsitatean (Alfaro-Sánchez et al., 2019) edo komunitate ektomikorrizikoetan (Correia et al., 2021; Mausolf et al., 2018). Zentzu horretan, ikerketa honen emaitzek basoen egitura aniztasuna ere funtsezkoa dela iradokitzen dute. Zuhaitzen tamaina heterogeneotasunak zuhaitzen hazkuntza sinkronian duen eragin negatiboak, baso-egitura heterogeneoek baso-erresilientzia areagotu dezaketela adierazten du. Izan ere, tamaina ezberdineko zuhaitzek ezberdin erantzun diezaiokete klimari (Day eta Greenwood, 2011), kalte eragiteko arriskua zuhaitz tamaina ezberdinetan zabalduz.

Zuhaitzen batez besteko tamainak hazkuntza sinkronian duen eraginak, ontogeniak garrantzi handia duela iradokitzen du klima aldaketak basoetan duen eraginean (Heiland et al., 2022). Zuhaitz txikiak, oro har banako gazteak, erantzun sinkronikoagoa azaldu zuten zuhaitz handiek baino. Emaitza horrek baso zaharrak mantentzea klima aldaketaren ondorio negatiboak arintzeko garrantzitsua dela nabarmentzen du, eta hori bereziki garrantzitsua da Europan, baso zaharrak oso urriak baitira (Sabatini et al., 2018). Zuhaitz handienek karbohidrato erreserba handiagoak dituzte, sustrai sistema garatuagoak eta sare mikorrizikoekiko lotura handiagoa zuhaitz txikiak baino. Horrek hobetu egin lezake zuhaitzen erresistentzia eta erresilientzia klima inpaktuekiko zuhaitz gazteenekin eta txikienekin alderatuta (Ruiz-Benito et al., 2015). Gainera, zuhaitz motzak banako gutxiz inguratuta aurkitu ohi dira, banako ezberdinen arteko lehia gutxituz eta klima aldaketari hobeto erantzuteko aukera emanez (Linares et al., 2010). Nahiz eta ikerketaren emaitzek baso-egitura aniztasunaren garrantzia azaldu zuhaitzen hazkuntza sinkronian, beste

aldagai batzuek ere eragina izan dezakete. Baso kudeaketak basoen propietate ezberdinei eragin diezaioke (adibidez, egurraren dentsitateari, sare mikorrizikoei edo biomasari; Alfaro-Sánchez et al., 2019; Correia et al., 2021; Jump et al., 2017), eta ondorioz, aldagai ezberdinek elkarreragin dezakete klima aldaketak zuhaitzen hazkuntzan duen inpaktuetan.

Berriki ezarritako tantaiek aurkeztu zuten hazkuntza sinkronia altuena. Gainera, zuhaitzen hazkuntza sinkronia denboran zehar altuago mantendu zen berriki ezarritako tantaletan beste kudeaketa ereduetan baino, prezipitazioak areagotzen hasi zirenean eta bero boladen eta udaberriko izozte berantiarren kopurua gutxitzen hasi zenean. Beraz, nahiz eta berriki ezarritako tantaiek funtsezkoak izan karbono biltegitratzaile gisa Iberiar Penintsulan (Vilà-Cabrera et al., 2017), klima aldaketarekiko zaugarriak izan daitezke. Azken finean, baso-egitura homogenea dute, eta horrek zuhaitzen hazkuntza sinkronia handitu dezake. Berriki ezarritako tantaien zaugarritasun handiak arriskua jar dezake Europako basoen karbono biltegitratze gaitasuna, izan ere, baso europarrak nagusiki gazteak dira (Pugh et al., 2019) eta karbono asetasunaren lehen zantzuak antzeman dira jadanik (Nabuurs et al., 2013). Ikerketa honen emaitzetan oinarrituz, berriki ezarritako tantaiek adin ezberdinetako zuhaitzak sortzera bideratuta dauden tekniken bidez kudeatu daitezke (Lafond et al., 2014). Horrela, baso-egitura anitzagoak sortuz eta hazkuntza sinkronia gutxituz. Horretaz gain, zuhaitz motzek (berriki zein aspaldi kimatutakoek) hazkuntza sinkronia txikiagoa azaldu zuten berriki ezarritako tantaiekin baino. Kimaketen berrabiarazpenak sarritan, zuhaitzen egonkortasuna eta osasuna hobetzen ditu (Camarero et al., 2022), eta baliteke berriki kimatutako zuhaitz motzetan ikusi den hazkuntza sinkronia txikiaren erantzule izatea. Zuhaitz motzak eta beraiekin lotutako ekosistemak berreskuratzeak onura gehigarriak ekar ditzake zuhaitzen hazkuntza sinkronia murrizteaz gain; esaterako, biodibertsitatea areagotzea, eta abeltzaintza eta baso jarduerak bateratzeko aukera izatea (Sjölund eta Jump, 2013). Beraz, ikerketaren emaitzek agerian uzten dituzte klima aldaketaren aurrean zaugarrienak diren basoak kudeaketa ereduaren arabera, eta aldi berean, basoak klima aldaketara egokitzeko beharrezkoak diren kudeaketa ekintzak gauzatzeko gakoak eskaintzen dituzte.

EMAITZEN APLIKAZIOAK ETA KUDEAKETARAKO GOMENDIOAK

Proiektuan lortutako emaitzek inplikazio zuzena dute Euskal Herriko isurialde kantauriarreko pagadien kudeaketan klima aldaketaren testuinguruan. Jarraian, ikertutako partzelak kudeatzeko gomendio orokor eta espezifikokoak emango dira kudeaketa ereduaren arabera.

Berriki ezarritako tantaiek baso kudeaketa eredu guztien artean zaugarrienak dira. Hortaz, etorkizuneko kudeaketak berriki ezarritako tantaiek egonkortzera eta erresilienteagoak bihurtzera bideratuta egon beharko luke. Horretarako bi kudeaketa jarduera dira beharrezkoak: (i) zuhaitz dentsitatea edo kopurua gutxitzea eta (ii) baso-egituraren heterogeneotasuna handitzea. Zuhaitz dentsitatea gutxitzean, baliabideak eskuratzeko banakoen arteko lehia gutxitu egiten da, klima aldaketarekiko erresilientzia handituz (Sohn et al., 2016). Dentsitatea gutxitzeko bakanketak egin daitezke, zuhaitzak moztuz edo eraztunduz. Eraztuntzeak zuhaitzaren enborraren kanpoaldeko floema (hau da, izerdi landua garraiatzen duen ehun eroalea) apurtzean datza, zuhaitza heriotzeraino eramanez prozesu motel batean. Eraztuntzearen kostu ekonomikoa oso baxua da mozketekin konparatuta. Bi kasuetan, hildako zuhaitzen egur hila tokian uztea gomendatzen da, egur hilaren deskonposaketak mantengugaiak askatzen baititu lurzorura eta animali askorentzat bizileku eta bazkaleku baitira (Triska eta Cromack, 1980). Txaradien kasuan (hau da, zuhaitz

espezie askok moztuz gero beren muinoetatik edo sustraietatik kimu berriak ateratzeko duen ahalmena ustiatzen duen baso kudeaketa eredua), banako bakoitzean enbor bakarra utzi beharko litzateke. Kontuan hartu behar da, txaradietan zuhaitz dentsitate altuaz gain, banako bakoitzak enbor bat baino gehiago izaten duela, eta ondorioz, baso horien zaugarritasuna handitzen dela klima aldaketaren aurrean (Arrechea, 2015). Gainera, bakanketek basoaren heterogeneotasuna handitu dezakete pagoak ez diren bestelako espeziak faboratuz. Pago banakoen artean tamaina aniztasuna faboratuz ere basoaren heterogeneotasuna handitu daiteke. Guzti horrek, espezie eta tamaina ezberdineko basoak sortzen lagundu dezake, klima aldaketaren aurrean ezberdin erantzungo dutenak (Day eta Greenwood, 2011).

Beste aukera bat berriki ezarritako tantaiekin zuhaitz horiek mugarratzea da, pago motzak sortuz. Izan ere, pago motzak gainbeheran daude eta Euskal Herrian banakoen kopurua gutxituz doa urtez urte (Herrero et al., 2021). Zuhaitz motzek garrantzi ekologiko eta kultural handia dute bai Euskal Herrian eta baita Europa maila ere, espezie askoren habitata baitira eta zuhaitz handi eta zaharren ordeko izan baitira gure basoetan mende askotan (Sjölund eta Jump, 2013; HAZI, d.g.; Herrero et al., 2021). Gainera, pago motzez osaturiko basoak paisaia kultural bezala ulertu daitezke, gizakia eta ingurunearen epe luzeko elkarrekintzaz sortutakoak, eta herri bateko gizarte eta bizimoduan emandako garapen eta aldaketen isla izan direnak (Fischer, 2018). Beraz, pago motzak iraganeko baso kudeaketaren aztarna bizia dira eta beraien kontserbazioak pago motz berriak sortzea eskatzen du daudenak kontserbatzeaz gain. Zuhaitzak 2-3 m-ko altueran mugarratu ohi dira, eta Euskal Herriko zenbait tokitan egin dira saiakerak pagoak mugarratzen (adibidez, Leitzan edo Aiako Harrian; HAZI, d.g.). Zuhaitzak mugarratzeaz gain, bakanketak ere egin beharko lirateke, mugarratutako zuhaitzen garapen egokia lortu ahal izateko.

Proiektuan ikertutako partzelei dagokionez, Mikeletetxetik gertu dagoen berriki ezarritako tantaien partzela pago motz berriak sortzera bideratzea gomendatzen da, zonalde horretan pago motzez osatutako eremu gehiago baitaude. Heritik urrutien dagoen berriki ezarritako tantaien partzela (hau da, Harrionaren ostean dagoena) bakanketekin kudeatzea izango litzateke aproposena, dentsitatea gutxitzeko eta heterogeneotasuna handitzeko. Berriki ezarritako tantaien hirugarren partzela (hau da, Iturigorriin dagoena) ikerketara bideratzea aholkatzen da, baso gazteek gizakiaren esku hartzerik gabe nola erantzungo luketen jakiteko. Amaieran azalduko da ikerketara bideratutako partzela guztietan proposatzen den jarraipena.

Aspaldi ezarritako tantaien partzelak, edo baso zaharrak, kontserbaziora bideratzea gomendatzen da. Ez da gomendatzen kudeaketa praktika espezifikorik aplikatzea baso horietan. Gaur egun, oso baso zahar gutxi ditugu Euskal Herrian eta beraz, ditugun eremu urriak kontserbatu behar dira. Baso gazteen kasuan bezala, baso zaharren partzela bat ikerketara bideratzea proposatzen da, beraien bilakaeraren jarraipen bat egiteko.

Aspaldi kimatutako pago motzak kontserbaziora bideratzea aholkatzen da. Aurretik aipatu da pago motzez osaturiko basoen balio ekologiko eta kulturala, eta daukaten balioa azpimarratzeko ekintzak burutzea proposatzen da. Zenbait zonaldeetan ibilbide gidatuak egin daitezke beraien balioa gizarteratzeko. Adibidez, jadanik Artaso inguruan egindako pago motzen ibilbidea aprobetxatu daiteke horretarako. Aizkorri-Aratz Parke Naturalaren barnean kokatuta daudenez, Parke Naturalaren zonifikazioaren barnean beharrezko kontserbazio neurriak aplikatu daitezke. Izan ere, kontuan hartu behar da lagindutako zuhaitz zaharrenak (400 urtetik gorakoak) partzela horietan daudela. Zuhaitz horietako batzuk Aparteko Zuhaitz moduan katalogatu daitezke (9/2021 legea, azaroaren 25ekoa, Euskadiko natura-ondarea kontserbatzeari buruzkoa), katalogazio hori lortzeko eskaera burutuz. Baliteke aspaldi kimatutako zenbait pago motz zahar denborarekin

hiltzea. Kasu horretan ez ukitzea gomendatzen da. Nahiz eta hilik egon, funtzio ekologiko ugari eta garrantzitsuak bete ditzakete habitat eta elikagai iturri moduan. Aurreko kasuetan bezala partzela bat ikerketara bideratzea gomendatzen da, kontserbazioarekin guztiz bateragarria dena.

Berriki kimatutako pago motzekin, 2010an eta 2014an egindako kimaketa edo inausketekin jarraitzea proposatzen da. Kimaketak gutxi gorabehera 10 urtean behin egin ohi dira eta gehienetan zuhaitzaren osasuna eta egonkortasuna hobetzen dituzte (Sjölund eta Jump, 2013). Modu horretan pagomotzez osaturiko basoen kontserbazioa bultzatzea bilatzen da. Kimaketen egur hondakinak partzelan bertan uztea aholkatzen da, egur hilaren kantitatea handitzeko asmoz. Berriki kimatutako pago motzetan ere partzeletariko bat jarraipen zientifikora bideratzea gomendatzen da.

Esan bezala, kudeaketa eredu bakoitzetik partzela bat ikerketara bideratzea proposatzen da. Basoak sistema dinamikoak dira eta dinamika natural horiek ikertu beharra dago, bereziki gaur egungo klima aldaketaren testuinguruan. Herri Onurako Mendiez arduratzen diren basozainek erraz hartzen diren zenbait datu urtero biltzea proposatzen da. Hauek lirateke hartu beharreko datuak:

- Pagoen hostoen sorrera epea
- Pagoen hostoen erorketa epea
- Pagatx ekoizpen handia izan ohi diren urteak
- Heriotza tasa: hildako banako kopurua eta zergatia (ahal bada)
- Asaldura edo perturbazio gertaerak: suteak, muturreko haizeteak, patogenoek sortutako kalte handiak, eta abar

Hostoen sortze eta erortze tasek hazkuntza sasoaren luzerari buruzko informazioa ematen dute, klima aldaketarekin hazkuntza tasa luzatzeko joera baitago (Peñuelas eta Filella, 2001). Pagatx ekoizpena basoaren birsorkuntzarako gakoa da, eta pagoak 4-6 urtean behin hazi ugari ekoizten ditu espezieran biziraupena bermatzeko (Packham et al., 2012). Heriotza tasa basoetan nahiko baxua izan ohi da baldintza arruntetan, baina klima aldaketarekin asko ari da hazten (Allen et al., 2015). Beraz, hiltzen diren banakoen berri izatea informazio oso baliagarria litzateke bai ikerketa berriak burutzeko eta baita kudeaketa neurri aproposak aplikatzeko ere. Amaitzeko, asaldura gertaeren berri izateak ere berebiziko garrantzia du basoen etorkizuneko bilakaera aztertzeko, asalduren maiztasuna eta intentsitatea areagotzea espero baita (Seidl et al., 2014). Datu guzti horiek hartzeko protokolo bat egin beharko litzateke. Gu prest gaude Oñatiko basoetan interesa duten aktore ezberdinekin bilera bat hitzartu, protokoloa idatzi eta datu bilketan laguntzeko. Gainera, proiektu honetan parte hartu dugun ikertzaileek datu bilketa gehigarri bat egingo genuke 3-4 urtean behin. Datu bilketa gehigarri hori sakonagoa izango litzateke, zuhaitzen hazkuntza (dendrokronologia tekniken bidez) eta birsorkuntzari buruzko informazioa bilduz, besteak beste.

INFORMAZIO GEHIGARRIA

Ikerketa honen behin-behineko argitalpena esteka honetan aurki daiteke (ingelesez): <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2023.03.17.532989v1>

Esteka berberak behin betiko argitalpenera joateko aukera eskainiko du eskuragarri dagoenean.

ESKERRAK

Oñatiko Udalak finantzatu du ikerketa. Bereziki eskerrak eman nahi dizkiegu Asier Iraeta Ingurumen zinegotziari eta Imanol Biain Oñatiko basozainari, funtsezkoak izan baitira ikerketa gauzatzeko. Baita eskerrak eman ikerketa guztian zehar lagundu diguten pertsona guztiei: Idoia Bollar, Miren Ugarte, Jon Urzelai, Xabi Urbina, Nere Amaia Laskurain, Mikel Aginagalde, Leire Astigarraga, Eugenio Astigarraga, Lurdes Urzelai, Eduardo Urzelai, Bibiñe Urzelai, Jon Lasa, Iñigo Ferreiro, Jon Ander Errasti, Jokin Ugarte, Aitana Gereta, Mikel Biain, Jon Regeiro, Unai Bikuña, Eritz Campos, Mikel Madina, Aitor Billar, Imanol Artola, Luis Ugarte, Valentin Mugarza, Luis Maiztegi, Bellotza 1, Bellotza 2, Maiña, Sindika eta Oñatiko Natur Eskola. Julen Astigarraga Eusko Jaurlaritzako Hezkuntza Sailak doktore ez diren ikertzaileak prestatzeko duen doktoratu aurreko programaren onuradun izan zen. Julen Astigarraga, Paloma Ruiz-Benito, Miguel Ángel Zavala eta Asier Herrero Zientzia eta Berrikuntza Ministerioak finantzatzen ditu (LARGE azpiroiectua, zk. PID 2021-123675OB-C41). Paloma Ruiz-Benitok Madrilgo Erkidegoaren laguntza du, Alcalako Unibertsitatearekin urte anitzeko akordioaren esparruan (Unibertsitateko Irakasle Iraunkorrenzako Bikaintasunerako Pizgarria, EPU-INV/2020/010). Enrique Andiviak PID2019-110470RA-100 (ADAPTAMIX) diru-laguntza jaso du, MCIN/AEI/10.13039/501100011033 finantzatua. Asier Herrero Eusko Jaurlaritzaren diru-laguntza jaso zuen Fisioklima-AgrososT (IT1682-22) ikerketa taldearen laguntza izan du. Azkenik, eskerrak eman nahi dizkiegu Francisco Rodríguez-Sánchez, Verónica Cruz-Alonso, Josep M. Serra-Diaz, Paco Lloret and Xavier Serra-Maluquer zientzialariei, ikerketari buruzko eztabaida interesgarriengatik eta hobetzeko egindako iruzkinengatik.

ERREFERENTZIAK

- Adams, H. D., Guardiola-Claramonte, M., Barron-Gafford, G. A., Villegas, J. C., Breshears, D. D., Zou, C. B., Troch, P. A., & Huxman, T. E. (2009). Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(17), 7063–7066. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901438106>
- Alfaro-Sánchez, R., Jump, A. S., Pino, J., Díez-Nogales, O., & Espelta, J. M. (2019). Land use legacies drive higher growth, lower wood density and enhanced climatic sensitivity in recently established forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 276-277, 107630. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107630>
- Allen, C. D., Breshears, D. D., & McDowell, N. G. (2015). On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the anthropocene. *Ecosphere*, 6(8), art129. <https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1>
- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D. D., Hogg, E. H. (Ted), Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.-H., Allard, G., Running, S. W., Semerci, A., & Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660684. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>
- Archambeau, J., Ruiz-Benito, P., Ratcliffe, S., Fréjaville, T., Changenet, A., Muñoz Castañeda, J. M., Lehtonen, A., Dahlgren, J., Zavala, M. A., & Benito Garzón, M. (2020). Similar patterns of background mortality across Europe are mostly driven by drought in European beech and a combination of drought and competition in Scots pine. *Agricultural and Forest Meteorology*, 280, 107772. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107772>

- Arrechea, E. (2015). Los efectos de las intervenciones selvícolas en las masas de monte bajo de *Quercus pyrenaica* en los montes públicos de la Sierra del Moncayo [Herrero, A., Zavala, M. A., (Eds.)]. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España.
- Astigarraga, J., Andivia, E., Zavala, M. A., Gazol, A., Cruz-Alonso, V., Vicente-Serrano, S. M., & Ruiz-Benito, P. (2020). Evidence of non-stationary relationships between climate and forest responses: Increased sensitivity to climate change in Iberian forests. *Global Change Biology*, 26(9), 5063–5076. <https://doi.org/10.1111/gcb.15198>
- Astigarraga, J., Calatayud, J., & Cruz-Alonso, V. (2022). *Trini*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7193360>
- Bartoń, K. (2022). *MuMIn: Multi-model inference*. <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>
- Biondi, F., & Qeadan, F. (2008). A Theory-Driven Approach to Tree-Ring Standardization: Defining the Biological Trend from Expected Basal Area Increment. *Tree-Ring Research*, 64(2), 81–96. <https://doi.org/10.3959/2008-6.1>
- Blondel, J. (2006). The 'design' of Mediterranean landscapes: A millennial story of humans and ecological systems during the historic period. *Human Ecology*, 34, 713–729. <https://doi.org/10.1007/s10745-006-9030-4>
- Boden, S., Kahle, H.-P., Wilpert, K. von, & Spiecker, H. (2014). Resilience of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) growth to changing climatic conditions in Southwest Germany. *Forest Ecology and Management*, 315, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.12.015>
- Bolker, B., & R Development Core Team. (2022). *Bbmle: Tools for general maximum likelihood estimation*. <https://github.com/bbolker/bbmle>
- Brooks, M., Bolker, B., Kristensen, K., Maechler, M., Magnusson, A., Skaug, H., Nielsen, A., Berg, C., & van Bentham, K. (2022). *glmmTMB: Generalized linear mixed models using template model builder*. <https://github.com/glmmTMB/glmmTMB>
- Cailleret, M., Dakos, V., Jansen, S., Robert, E. M. R., Aakala, T., Amoroso, M. M., Antos, J. A., Bigler, C., Bugmann, H., Caccianaga, M., Camarero, J.-J., Cherubini, P., Coyea, M. R., Čufar, K., Das, A. J., Davi, H., Gea-Izquierdo, G., Gillner, S., Haavik, L. J., ... Martínez-Vilalta, J. (2019). Early-warning signals of individual tree mortality based on annual radial growth. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.01964>
- Camarero, J. J., González de Andrés, E., Colangelo, M., & Jaime Loren, C. de. (2022). Growth history of pollarded black poplars in a continental Mediterranean region: A paradigm of vanishing landscapes. *Forest Ecology and Management*, 517, 120268. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120268>
- Cavin, L., & Jump, A. S. (2017). Highest drought sensitivity and lowest resistance to growth suppression are found in the range core of the tree *Fagus sylvatica* L. Not the equatorial range edge. *Global Change Biology*, 23(1), 362379. <https://doi.org/10.1111/gcb.13366>
- Correia, M., Espelta, J. M., Morillo, J. A., Pino, J., & Rodríguez-Echeverría, S. (2021). Land-use history alters the diversity, community composition and interaction networks of ectomycorrhizal fungi in beech forests. *Journal of Ecology*, 109(8), 2856–2870. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13674>
- Cruz-Alonso, V., Rodríguez-Sánchez, F., Pucher, C., Ruiz-Benito, P., Astigarraga, J., Neumann, M., & Ratcliffe, S. (2021). *Easyclimate: Easy access to high-resolution daily climate data for europe*. <https://github.com/VeruGHub/easyclimate>
- D'Orangeville, L., Houle, D., Duchesne, L., Phillips, R. P., Bergeron, Y., & Kneeshaw, D. (2018). Beneficial effects of climate warming on boreal tree growth may be transitory. *Nature Communications*, 9(1), 3213. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05705-4>

- Day, M. E., & Greenwood, M. S. (2011). Regulation of Ontogeny in Temperate Conifers. In F. C. Meinzer, B. Lachenbruch, & T. E. Dawson (Eds.), *Size- and Age-Related Changes in Tree Structure and Function* (pp. 91–119). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1242-3_4
- Díaz-Martínez, P., Ruiz-Benito, P., Madrigal-González, J., Gazol, A., & Andivia, E. (2023). Positive effects of warming do not compensate growth reduction due to increased aridity in Mediterranean mixed forests. *Ecosphere*, *14*(1), e4380. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4380>
- Dobbertin, M. (2005). Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *European Journal of Forest Research*, *124*(4), 319–333. <https://doi.org/10.1007/s10342-005-0085-3>
- FAO. (2020). *Global forest resources assessment 2020 - Key findings*. <https://doi.org/10.4060/ca8753en>
- Fischer, A. P. (2018). Forest landscapes as social-ecological systems and implications for management. *Landscape and Urban Planning*, *177*, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.001>
- Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press.
- Garbarino, M., Morresi, D., Meloni, F., Anselmetto, N., Ruffinatto, F., & Bocca, M. (2022). Legacy of wood charcoal production on subalpine forest structure and species composition. *Ambio*, *51*(12), 2496–2507. <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01750-y>
- Gazol, A., Camarero, J. J., Sangüesa-Barreda, G., Serra-Maluquer, X., Sánchez-Salguero, R., Coll, L., & Casals, P. (2020). Tree species are differently impacted by cumulative drought stress and present higher growth synchrony in dry places. *Frontiers in Forests and Global Change*, *3*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2020.573346>
- Hartig, F. (2022). *DHARMA: Residual diagnostics for hierarchical (multi-level / mixed) regression models*. <http://florianhartig.github.io/DHARMA/>
- Heiland, L., Kunstler, G., Ruiz-Benito, P., Buras, A., Dahlgren, J., & Hülsmann, L. (2022). Divergent occurrences of juvenile and adult trees are explained by both environmental change and ontogenetic effects. *Ecography*, *2022*(3), e06042. <https://doi.org/10.1111/ecog.06042>
- Herrero, A., Astigarraga, J., Cruz-Alonso, V. (2021). Zuhaitz motzak: iraganeko ustiapenaren aztarnak gaurko basoetan. *Pyrenaica* *284*, 54–59.
- Infante-Amate, J., Iriarte-Goñi, I., Urrego-Mesa, A., & Gingrich, S. (2022). From woodfuel to industrial wood: A socio-metabolic reading of the forest transition in Spain (1860–2010). *Ecological Economics*, *201*, 107548. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107548>
- IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (Eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Jump, A. S., Ruiz-Benito, P., Greenwood, S., Allen, C. D., Kitzberger, T., Fensham, R., Martínez-Vilalta, J., & Lloret, F. (2017). Structural overshoot of tree growth with climate variability and the global spectrum of drought-induced forest dieback. *Global Change Biology*, *23*(9), 3742–3757. <https://doi.org/10.1111/gcb.13636>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Lafond, V., Lagarrigues, G., Cordonnier, T., & Courbaud, B. (2014). Uneven-aged management options to promote forest resilience for climate change adaptation: effects of group selection and harvesting intensity. *Annals of Forest Science*, *71*(2), 173–186. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0291-y>

- Latte, N., Lebourgeois, F., & Claessens, H. (2015). Increased tree-growth synchronization of beech (*Fagus sylvatica* L.) in response to climate change in northwestern Europe. *Dendrochronologia*, 33, 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.01.002>
- Linares, J. C., Camarero, J. J., & Carreira, J. A. (2010). Competition modulates the adaptation capacity of forests to climatic stress: insights from recent growth decline and death in relict stands of the Mediterranean fir *Abies pinsapo*. *Journal of Ecology*, 98(3), 592–603. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01645.x>
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer, M. J., & Marchetti, M. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 698–709. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023>
- Marqués, L., Peltier, D. M. P., Camarero, J. J., Zavala, M. A., Madrigal-González, J., Sangüesa-Barreda, G., & Ogle, K. (2022). Disentangling the Legacies of Climate and Management on Tree Growth. *Ecosystems*, 25(1), 215–235. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00650-8>
- Mausolf, K., Härdtle, W., Jansen, K., Delory, B. M., Hertel, D., Leuschner, C., Temperton, V. M., Oheimb, G. von, & Fichtner, A. (2018). Legacy effects of land-use modulate tree growth responses to climate extremes. *Oecologia*, 187(3), 825–837. <https://doi.org/10.1007/s00442-018-4156-9>
- McDowell, N. G., Allen, C. D., Anderson-Teixeira, K., Aukema, B. H., Bond-Lamberty, B., Chini, L., Clark, J. S., Dietze, M., Grossiord, C., Hanbury-Brown, A., Hurtt, G. C., Jackson, R. B., Johnson, D. J., Kueppers, L., Lichstein, J. W., Ogle, K., Poulter, B., Pugh, T. A. M., Seidl, R., ... Xu, C. (2020). Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science*, 368(6494), eaaz9463. <https://doi.org/10.1126/science.aaz9463>
- Millar, C. I., & Stephenson, N. L. (2015). Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance. *Science*, 349(6250), 823–826. <https://doi.org/10.1126/science.aaa9933>
- Moreno, A., & Hasenauer, H. (2016). Spatial downscaling of European climate data. *International Journal of Climatology*, 36(3), 1444–1458. <https://doi.org/10.1002/joc.4436>
- Nabuurs, G.-J., Lindner, M., Verkerk, P. J., Gunia, K., Deda, P., Michalak, R., & Grassi, G. (2013). First signs of carbon sink saturation in European forest biomass. *Nature Climate Change*, 3(9), 792–796. <https://doi.org/10.1038/nclimate1853>
- Packham, J. R., Thomas, P. A., Atkinson, M. D., & Degen, T. (2012). Biological flora of the British Isles: *Fagus sylvatica*. *Journal of Ecology*, 100(6), 1557–1608. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2012.02017.x>
- Peng, C., Ma, Z., Lei, X., Zhu, Q., Chen, H., Wang, W., Liu, S., Li, W., Fang, X., & Zhou, X. (2011). A drought-induced pervasive increase in tree mortality across Canada's boreal forests. *Nature Climate Change*, 1(9), 467–471. <https://doi.org/10.1038/nclimate1293>
- Peñuelas, J., & Filella, I. (2001). Responses to a Warming World. *Science*, 294(5543), 793–795. <https://doi.org/10.1126/science.1066860>
- Peñuelas, J., Ciais, P., Canadell, J. G., Janssens, I. A., Fernández-Martínez, M., Carnicer, J., Obersteiner, M., Piao, S., Vautard, R., & Sardans, J. (2017). Shifting from a fertilization-dominated to a warming-dominated period. *Nature Ecology & Evolution*, 1(10), 1438–1445. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0274-8>
- Perring, M. P., Bernhardt-Römermann, M., Baeten, L., Midolo, G., Blondeel, H., Depauw, L., Landuyt, D., Maes, S. L., De Lombaerde, E., Carón, M. M., Vellend, M., Brunet, J., Chudomelová, M., Decocq, G., Diekmann, M., Dirnböck, T., Dörfler, I., Durak, T., De Frenne, P., ... Verheyen, K. (2018). Global environmental change effects on plant community composition trajectories depend upon management legacies. *Global Change Biology*, 24(4), 1722–1740. <https://doi.org/10.1111/gcb.14030>

- Poyatos, R., Latron, J., & Llorens, P. (2003). Land use and land cover change after agricultural abandonment. *Mountain Research and Development*, 23, 362–368. [https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2003\)023\[0362:lualcc\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2003)023[0362:lualcc]2.0.co;2)
- Pugh, T. A. M., Lindeskog, M., Smith, B., Poulter, B., Arneeth, A., Haverd, V., & Calle, L. (2019). Role of forest regrowth in global carbon sink dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(10), 43824387. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810512116>
- R Core Team (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Rammer, W., Pucher, C., & Neumann, M. (2018). *Description, evaluation and validation of downscaled daily climate data version 2*. URL: <ftp://palantir.boku.ac.at/Public/ClimateData/>
- Ruiz-Benito, P., Madrigal-González, J., Young, S., Mercatoris, P., Cavin, L., Huang, T.-J., Chen, J.-C., & Jump, A. S. (2015). Climatic Stress during Stand Development Alters the Sign and Magnitude of Age-Related Growth Responses in a Subtropical Mountain Pine. *PLOS ONE*, 10, e0126581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126581>
- Sabatini, F. M., Burrascano, S., Keeton, W. S., Levers, C., Lindner, M., Pötzschner, F., Verkerk, P. J., Bauhus, J., Buchwald, E., Chaskovsky, O., Debaive, N., Horváth, F., Garbarino, M., Grigoriadis, N., Lombardi, F., Marques Duarte, I., Meyer, P., Midteng, R., Mikac, S., ... Kuemmerle, T. (2018). Where are Europe's last primary forests? *Diversity and Distributions*, 24, 1426–1439. <https://doi.org/10.1111/ddi.12778>
- Sangüesa-Barreda, G., Di Filippo, A., Piovesan, G., Rozas, V., Di Fiore, L., García-Hidalgo, M., García-Cervigón, A. I., Muñoz-Garachana, D., Baliva, M., & Olano, J. M. (2021). Warmer springs have increased the frequency and extension of late-frost defoliations in southern European beech forests. *Science of The Total Environment*, 775, 145860. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145860>
- Scarascia-Mugnozza, G., Oswald, H., Piussi, P., & Radoglou, K. (2000). Forests of the Mediterranean region: Gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*, 132(1), 97–109. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00383-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00383-2)
- Seidl, R., Schelhaas, M.-J., Rammer, W., & Verkerk, P. J. (2014). Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature Climate Change*, 4(9), Article 9. <https://doi.org/10.1038/nclimate2318>
- Shestakova, T. A., Gutiérrez, E., Kirilyanov, A. V., Camarero, J. J., Génova, M., Knorre, A. A., Linares, J. C., Resco de Dios, V., Sánchez-Salguero, R., & Voltas, J. (2016). Forests synchronize their growth in contrasting Eurasian regions in response to climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(3), 662–667. <https://doi.org/10.1073/pnas.1514717113>
- Sohn, J. A., Saha, S., & Bauhus, J. (2016). Potential of forest thinning to mitigate drought stress: A meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 380, 261–273. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.046>
- Sjölund, M. J., & Jump, A. S. (2013). The benefits and hazards of exploiting vegetative regeneration for forest conservation management in a warming world. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 86(5), 503–513. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpt030>
- Song, X.-P., Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Vermote, E. F., & Townshend, J. R. (2018). Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 560, 639–643. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0411-9>
- Tejedor, E., Serrano-Notivoli, R., Luis, M. de, Saz, M. A., Hartl, C., St. George, S., Büntgen, U., Liebhold, A. M., Vuille, M., & Esper, J. (2020). A global perspective on the climate-driven growth synchrony of neighbouring trees. *Global Ecology and Biogeography*, 29(7), 1114–1125. <https://doi.org/10.1111/geb.13090>

Triska F. J., Cromack K. (1980). The role of wood debris in forests and streams. In: Waring RH (Ed.) *Forests: fresh perspectives from ecosystem analysis*. Proc 40th Biology Colloq, 1979, Oregon State University Press, Corvallis

van Mantgem, P. J., Stephenson, N. L., Byrne, J. C., Daniels, L. D., Franklin, J. F., Fulé, P. Z., Harmon, M. E., Larson, A. J., Smith, J. M., Taylor, A. H., & Veblen, T. T. (2009). Widespread increase of tree mortality rates in the western united states. *Science*, 323, 521–524. <https://doi.org/10.1126/science.1165000>

Vilà-Cabrera, A., Espelta, J. M., Vayreda, J., & Pino, J. (2017). “New Forests” from the Twentieth Century are a Relevant Contribution for C Storage in the Iberian Peninsula. *Ecosystems*, 20(1), 130–143. <https://doi.org/10.1007/s10021-016-0019-6>

Yamaguchi, D. K. (1991). A simple method for cross-dating increment cores from living trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(3), 414–416. <https://doi.org/10.1139/x91-053>