



2022
Lleida

27·1
junio · juny
julio · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



La sincronía en el engrosamiento radicular de *Quercus* a diferentes escalas temporales

ALDAY, J.G.^{1,2}, CAMARERO, J.J.³, SHESTAKOVA, T.A.⁴, REVILLA, J.³, RESCO DE DIOS, V.^{1,2} y VOLTAS, J.^{1,2}

¹ Departamento de Producción Vegetal y Ciencia Forestal. Av. Alcalde Rovira Roure 191, Lleida E-25198, España

² Joint Research Unit CTFC – AGROTECNIO, Av. Alcalde Rovira Roure 191, Lleida E-25198, España.

³ Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC), Avda. Montañana 1005, Zaragoza.

⁴ Woodwell Climate Research Center, 149 Woods Hole Road, Falmouth, MA 02540 USA.

Resumen

La sincronía espacial se refiere a la presencia de una señal geográfica común en una característica variable en el tiempo. Si esta definición la aplicamos a la dendrocronología, nos referiremos a la señal que se comparte entre series medias de crecimiento radial (anchura de anillos) de un área en particular. Sin embargo, los nuevos dendrómetros digitales permiten la observación de cambios en el diámetro de los árboles a escalas temporales de mayor resolución (horas, días, meses) y por ende de la sincronía a esas escalas intra-anales. Utilizando el paquete estadístico DendroSync, que facilita la estimación y el trazado de patrones de sincronía para grupos predefinidos de cronologías, se analiza la sincronía a diferentes escalas temporales del incremento radial de raíz en dos especies de *Quercus* (*Q. ilex*, *Q. fagínea*) que coexisten en un sitio de clima continental mediterráneo (Agüero, Huesca). Los resultados muestran oscilaciones significativas de la sincronía intra/interespecífica diaria y mensual durante la época de crecimiento (primavera), indicando cierta complementariedad en el nicho radicular de ambas especies. La sincrónica intra/interespecífica entre especies que coexisten a escalas temporales mensuales o diarias nos puede dar pistas sobre su respuesta o resistencia frente a procesos relacionados con el cambio climático.

Palabras clave

Dendrómetros, encina, raíces, crecimiento, radial, quejigo.

1. Introducción

En la actualidad los dendrómetros se están utilizando ampliamente para caracterizar la dinámica radial en troncos y raíces de árboles y arbustos, con la finalidad de desentrañar los mecanismos subyacentes a los ritmos diarios de expansión y contracción radial, así como de crecimiento (BARBETA et al., 2019). Sin embargo, el uso de dendrómetros automatizados se ha extendido considerablemente para la medición de los cambios radiales del tronco de los árboles (CAMARERO et al., 2010; ZWEIFEL et al., 2016), no obstante, su aplicación sobre las raíces de los árboles es rara (más información en ALDAY et al., 2020). La escasez de estudios que utilicen dendrómetros automatizados sobre raíces limita la comprensión adecuada de las dinámicas radiales de las raíces en relación al crecimiento de la parte aérea.

En la península ibérica los bosques mixtos de robles se encuentran bastante extendidos por amplias zonas, destacando las mezclas entre *Quercus ilex* y *Quercus fagínea* en zonas de clima mediterráneo (RUIZ DE LA TORRE, 2006). Este tipo de masas mixtas presentan particularidades muy interesantes para su estudio, ya que ambas especies muestran importantes diferencias funcionales y fenológicas que pueden explicar su coexistencia (COLL et al., 2012). Por lo tanto, estos bosques mixtos son un ecosistema modelo interesante para estudiar las diferencias en la dinámica de las raíces entre las especies de robles caducifolios y de hoja perenne que coexisten (ALDAY et al., 2020). El conocimiento de la dinámica de las raíces es fundamental para realizar predicciones precisas sobre la adaptación de las plantas al cambio climático (por ejemplo, la vulnerabilidad del

xilema a la sequía) o para predecir sus efectos en la productividad forestal y el secuestro de carbono (BEEDLOW et al., 2013). Además, la sincronía en la dinámica del crecimiento de las raíces de dos especies funcional y fenológicamente diferentes nos puede dar una idea de posibles diferencias en la adquisición de recursos o el crecimiento en respuesta a cambios ambientales (DEL RÍO et al., 2021).

La sincronía puede entenderse como la presencia de una señal común relevante para un rasgo que varía en el tiempo (ALDAY et al., 2018) y que ocurre en diferentes niveles jerárquicos dentro del ecosistema con importantes implicaciones para la estabilidad del mismo (WANG et al., 2019). En masas mixtas, analizar la sincronía en las dinámicas radiales tanto de troncos como de raíces a diferentes niveles puede proporcionar información importante sobre la dinámica forestal. Por ejemplo, dinámicas asincrónicas en masas mixtas puede indicar la adquisición de recursos complementarios espacial o temporalmente, lo que podría estar relacionado con aumentar el crecimiento de la masa y su estabilidad en comparación con los monocultivos (DEL RÍO et al., 2014).

Dentro de la sincronía podríamos diferenciar la sincronía intraespecífica (es decir, relativa a individuos de la misma especie), que puede considerarse como un indicador de la uniformidad de la especie en su respuesta frente a la variabilidad climática. Mientras que la sincronía interespecífica (es decir, relativa a individuos de especies diferentes), refleja cómo de igual o distinto dos (o más) especies responden a esta variabilidad climática (SHESTAKOVA et al., 2018). En general, la sincronía intraespecífica es mayor que la sincronía interespecífica debido a las diferentes respuestas de crecimiento intrínseco de las especies al clima (SHESTAKOVA et al., 2016).

2. Objetivos

El objetivo de este estudio es describir la sincronía (intraespecífica e interespecífica) en las dinámicas de crecimiento radial de las raíces de dos especies de *Quercus* (*Q. ilex*, *Q. faginea*) que coexisten en un área de clima mediterráneo (Agüero, Huesca). Para ello se describirá la sincronía a escalas temporales, diaria y mensual, dentro del periodo de crecimiento principal de las raíces de ambas especies que comprende los meses de abril a julio. Nuestra hipótesis es que, tratándose de dos especies que cohabitan en una misma área, éstas mostraran una mayor sincronía intraespecífica que interespecífica en las dinámicas radiales de las raíces. Este aspecto podría estar relacionado con la complementariedad de nichos que ocupan (DEL RÍO et al., 2021).

3. Metodología

El área de estudio se encuentra en el municipio de Agüero (Huesca; 42° 18' N, 0° 47' W, 750 m). El área se sitúa sobre suelos básicos calcáreos con textura franco-arcillosa, mientras que la vegetación que domina la zona se encuentra compuesta principalmente por bosques de robles (*Q. ilex*, *Q. faginea*) acompañadas de una cohorte de especies de pequeño tamaño (*Arbutus unedo*, *Juniperus oxycedrus*). El clima es mediterráneo con una precipitación anual media de 750 mm y con temperatura mínima del mes más frío (enero) de 4,3°C y la máxima del mes más cálido (julio) de 28,4°C.

Sobre un área plana de aproximadamente 8 hectáreas en la que conviven individuos adultos de dos especies estudiadas (Q_i , *Q. ilex*; Q_f , *Q. faginea*), se seleccionaron 5 árboles por especie que presentaran unas características estructurales similares. Sobre los 10 individuos seleccionados se procedió a establecer dendrómetros automáticos para realizar mediciones del crecimiento de la raíz. En cada individuo se seleccionó una raíz de diámetro 15-25 cm que se situaba a 20 - 50 cm del tronco principal y a unos 10 - 30 cm de profundidad. Sobre cada raíz se instaló un dendrómetro automático de punto (Agricultural Electronics Corp., Tucson, AZ, USA) para medir los cambios en

diámetro de la raíz a través del tiempo. Los datos se registraron cada 15 minutos durante 7 años (octubre 2007 – noviembre 2014).

Una vez recolectados los datos, sobre ellos se aplicó un coeficiente térmico de corrección de $0,0043 \text{ mm}^\circ\text{C}^{-1}$ para corregir la sensibilidad de las medidas de los dendrómetros como consecuencia de los cambios en temperatura. Posteriormente, las series temporales de variación de crecimiento se examinaron en detalle para identificar huecos e inconsistencias, así como para determinar posibles datos extremos (outliers). Desafortunadamente, tras este examen se tuvieron que eliminar 3 individuos de los sucesivos análisis (1 Qi y 2 Qf) debido al gran número de anomalías y la baja calidad de los registros de la secuencia temporal. Finalmente, los datos de las variaciones radiales se estandarizaron para cada año restando para cada individuo el incremento radial de la última hora del último día del año anterior. De este modo se pueden observar los incrementos reales del año y no los acumulados entre los años. Debido a que nos centraremos en los meses de crecimiento radicular para determinar la sincronía, de los datos brutos únicamente se seleccionaron aquellos que comprendían días en los que se producía crecimiento de las raíces; es decir un incremento neto del perímetro de la raíz; desde el día 100 al 196 (ALADAY et al., 2020), lo que incluyen los meses de abril a la primera quincena de julio (julio no se considera completo).

Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa R (R versión 4.0.3, R CORE TEAM, 2020, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). En este trabajo se describirá la sincronía en función de dos tipos de datos: i) sobre los datos brutos (abreviados “Sinbrut”) que mostraran la sincronía absoluta en el crecimiento de la raíz y ii) sobre los datos sin tendencia temporal (abreviados “Sintend”), que revela la señal común en la variabilidad de alta frecuencia ligada a la respuesta a la variación interanual de las condiciones ambientales. En el caso de los análisis tras la eliminación de las tendencias temporales se optó por ajustar modelos aditivos mixtos mediante la librería “mgcv” (GAMM, WOOD, 2011). Se optó por estos modelos al permitir corregir la autocorrelación y ajustar respuestas más flexibles a las variaciones diarias sobre incremento de las raíces.

Para el cálculo de la sincronía se utilizó el paquete DendroSync (ALDAY et al., 2018, 2019) que cuantifica la sincronía entre cronologías de anchos de anillo para periodos de tiempo fijos definidos. La sincronía oscila entre -1 y 1 con valores negativos indicando asincronía. La sincronía se evaluó utilizando modelos mixtos sobre estructuras de varianza-covarianza (VCOV). En todos los casos descritos y por facilidad en la comparación y explicación de resultados se utilizó para todos los cálculos la matriz no restringida en su versión heterocedástica (mHeUN). Los cálculos de sincronía se realizaron sobre datos diarios y mensuales del periodo de crecimiento. Sin embargo, los cálculos mensuales solo se reportan para los 3 primeros años.

4. Resultados

Los resultados de la sincronía diaria bruta (“Sinbrut”, Figura 1) sobre los cambios radiales de raíz durante el periodo de crecimiento muestran una mayor sincronía intraespecífica en Qf que en Qi, especialmente a partir del año 2010 (Figura 1, izquierda). Los valores de sincronía intraespecífica en Qf a partir de 2010 se encuentran por encima de 0,4. Únicamente durante 2008 hay mayor sincronía intraespecífica en Qi.

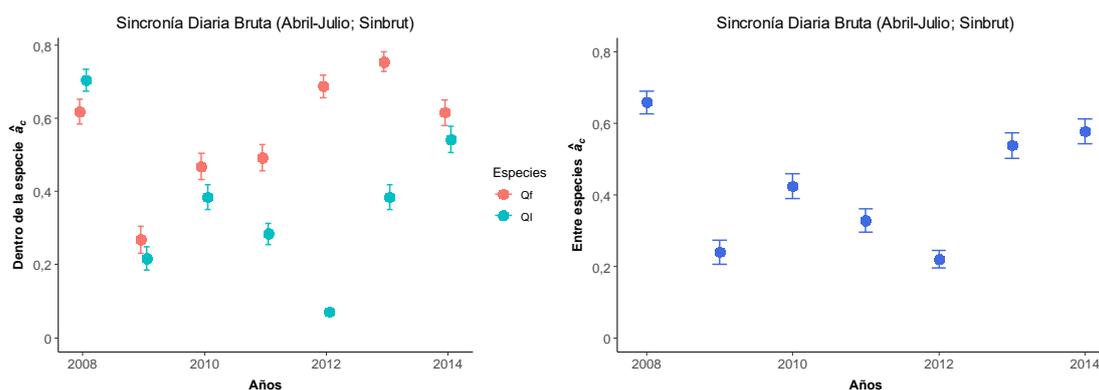


Figura 1. Valores medios estimados y error estándar de los valores de sincronía bruta diaria (Sinbrut) de las comparaciones intraespecíficas (izquierda) e interespecíficas (derecha) para *Q. ilex* (Qi) y *Q. faginea* (Qf) entre el 2008 y 2014.

Un aspecto interesante es que si comparamos la “Sinbrut” diaria intraespecífica con la interespecífica observamos como las sincronías intraespecíficas fueron mayores que las interespecíficas en el caso de Qf, por el contrario, Qi mantiene unos valores similares a los de sincronía interespecíficos (Figura 1, derecha). Los valores de la “Sinbrut” mensual presentan unos valores tanto intraespecíficos como interespecíficos muy altos y en todos los casos superiores a 0,42 (Tabla 1). Estos valores son incluso, mayores que los que se observan sobre las mediciones diarias.

Tabla 1. Valores medios estimados y error estándar de los valores de sincronía bruta mensual (Sinbrut) de las comparaciones intraespecíficas de *Q. ilex* (Qi) y *Q. faginea* (Qf) e interespecíficas (Qf vs Qi) entre el 2008 y 2010.

Especie	2008	2009	2010
Qf	0,71±0,2	0,50±0,3	0,66±0,2
Qi	0,78±0,1	0,42±0,2	0,53±0,2
Qf vs Qi	0,74±0,2	0,45±0,3	0,58±0,2

Si analizamos los datos de la sincronía sin la tendencia temporal (“Sindret”, Figura 2) se observa como los valores de sincronía diaria son menores que los obtenidos sobre los datos brutos (Figura 1 vs Figura 2). Las dos especies analizadas presentan oscilaciones en la “Sindret” diaria intraespecífica entre 0,05 - 0,58 para Qf y 0,03 - 0,38 para Qi. No se aprecia que una especie presente mayor sincronía intraespecífica que la otra. Por ejemplo, en los años 2009 y 2012 existe mayor sincronía en Qf mientras que en 2008 y 2011 hay mayor sincronía en Qi (Figura 2, izquierda). También es remarcable como en los años 2010, 2013 y 2014 la “Sindret” intraespecífica es similar en las dos especies. Un aspecto importante es que sobre los datos sin tendencia se observa una mayor sincronía intraespecífica que interespecífica (Figura 2), tal y como se había hipotetizado. En este caso los valores de “Sindret” diaria interespecífica se encuentran muy próximos a 0 con valores incluso asincrónicos entre las dos especies para los años 2008, 2011, 2013 y 2014.

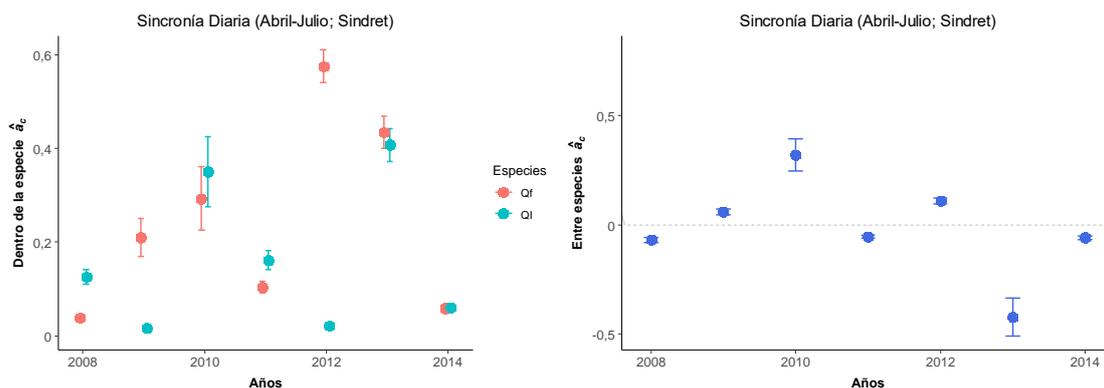


Figura 2. Valores medios estimados y error estándar de los valores de sincronía diaria sin la tendencia temporal (Sindret) de las comparaciones intraespecíficas (izquierda) e interespecíficas (derecha) para *Q. ilex* (Q_i) y *Q. faginea* (Q_f) de 2008 al 2014.

El análisis de la “Sindret” mensual para los 3 primeros años muestra como los valores intraespecíficos siguen siendo mayores que los interespecíficos (Figura 3). Además, la “Sindret” mensual intraespecífica presenta mayores valores durante los meses de abril y mayo. Por el contrario, en los meses de junio y julio se aprecia un descenso hacia el verano en la “Sindret” mensual para cada una de las especies (Figura 3, izquierda). Estos valores mensuales son mayores que los que se obtienen en los valores de “Sindret” diaria intraespecífica.

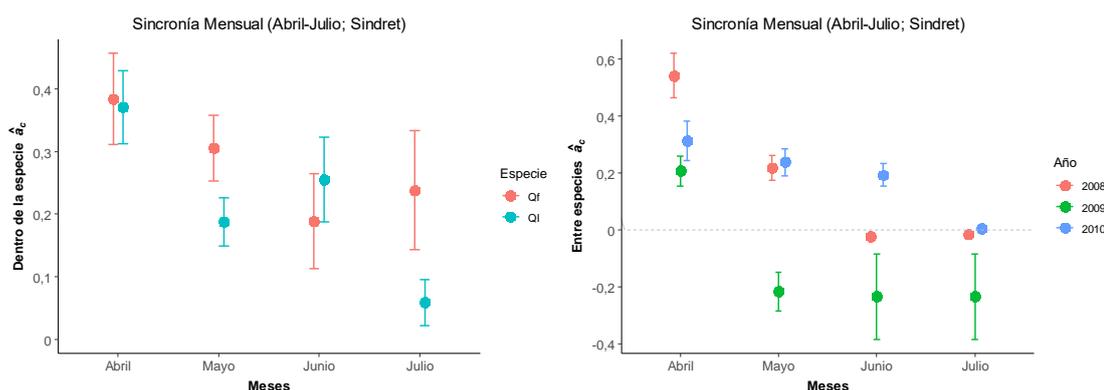


Figura 3. Valores medios estimados y error estándar de los valores de sincronía mensual sin la tendencia temporal (Sindret) de las comparaciones intraespecíficas (izquierda) e interespecíficas (derecha) entre *Q. ilex* (Q_i) y *Q. faginea* (Q_f) de 2008 a 2010.

Al analizar los datos de la “Sindret” mensual interespecífica para los 3 primeros años (Figura 3 derecha), se aprecia como en abril y en mayo encontramos valores positivos de sincronía, mientras que en los meses próximos al verano observamos cómo los valores según el año se aproximan a 0 o se producen asincronías en los incrementos de raíz (valores negativos). Este hecho se produce principalmente en los meses de junio y julio.

5. Discusión

Los datos de sincronía sobre las dinámicas-radiales de raíz para el periodo de crecimiento muestran cómo la utilización de sincronías intraespecíficas e interespecíficas sobre datos brutos y sin tendencia (“Sinbrut” y “Sindret”) ayudan a comprender los procesos subyacentes a las dinámicas-radiales de la raíz durante el periodo de crecimiento. Además, nuestros resultados muestran cómo para alta frecuencia (“Sindret”) la sincronía intraespecífica es mayor que la interespecífica, lo que sugiere una respuesta diferente en función de las oscilaciones climáticas que puede ser la causa de una complementariedad en el nicho en cuanto a los procesos relacionados

con las dinámicas del crecimiento de la raíz. Los datos brutos mostraron cómo la sincronía intraespecífica en Qf fue mayor que en Qi durante casi todos los años, lo que puede indicar que las dinámicas radiculares sean más homogéneas en Qf que en Qi. Quizás el motivo se deba a que Qi presenta dinámicas más individualizadas al tener que mantener un sistema radicular más extenso (BARBETA et al., 2016) o a que muestra una fenología más amplia que Qf, que concentra su crecimiento primario y secundario en la primavera (MONSERRAT-MARTÍ et al., 2009).

Respecto a las sincronías intraespecíficas sin tendencia tanto diarias como mensuales se observa cómo los valores para cada especie oscilan según los años. Hay años con sincronías similares entre Qi y Qf y años en los que una de las dos especies presenta mayores sincronías. Este hecho nos puede estar indicando cómo los cambios climáticos intraanuales e interanuales hacen que las dinámicas radiculares a escalas diaria y mensuales de las dos especies difieran y se adapten a las mejores condiciones para su desarrollo. Es interesante remarcar que las sincronías interespecíficas son muy bajas y oscilando desde valores positivos a negativos, lo que de nuevo sugiere que la sincronía interespecífica diaria puede estar también condicionada por las condiciones climáticas diarias de cada año haciendo que las especies respondan de forma sincrónica en los años con condiciones óptimas para las dos especies y de forma asincrónica en los años en los que las condiciones son más limitantes para una de las especies (por ejemplo, primaveras secas para Qf).

Un aspecto interesante es observar cómo la sincronía mensual interespecífica sin tendencia durante la etapa de crecimiento cambia de valores positivos, es decir sincrónicos, en los meses de abril a mayo a valores negativos, es decir asincrónicos, en los meses de junio y julio. Este proceso se debe principalmente al periodo en que cada una de las dos especies alcanza la parada estival de crecimiento (ALDAY et al., 2020). Las dinámicas de la raíz en Qi se detienen en junio antes de la llegada del periodo de mayor déficit hídrico (julio-septiembre), mientras que en el caso de Qf se alargan un poco más hasta comienzos de julio (ALDAY et al., 2020). Estos procesos de parada condicionan la sincronía en la dinámica de las raíces de las dos especies, haciendo que las dinámicas pasen de sincrónicas en los meses de abril y mayo a asíncronas cuando nos acercamos al verano.

6. Conclusiones

Los resultados muestran oscilaciones significativas de la sincronía intra/interespecífica diaria y mensual tanto bruta como sin tendencia durante la época de crecimiento para las dos especies del género *Quercus*, indicando cierta complementariedad en el nicho radicular de ambas especies. La sincrónica intra/interespecífica sin tendencia temporal muestra la variabilidad de alta frecuencia ligada a la respuesta a la variación interanual diaria y mensual de las condiciones ambientales, y cómo las dos especies presentan dinámicas radiculares asíncronas sobre todo a partir de junio, periodo en el que las raíces de Qi reducen su actividad en comparación con las de Qf. El uso de análisis de sincronía entre especies en las dinámicas de crecimiento de raíz a escalas mensuales o diarias nos puede ayudar a comprender las diferencias en la respuesta a condiciones ambientales y de nicho que son fundamentales para describir su respuesta frente a procesos relacionados con el cambio climático o con otras perturbaciones.

7. Agradecimientos

JGA está financiado por un contrato Ramón y Cajal (RYC-2016-20528). Nuestro más sincero agradecimiento a M. Maestro, A. Vallejo, E. Lahoz, A.Q. Alla, J. Albuixech y G. Monserrat-Martí por su colaboración en los trabajos de campo.

8. Bibliografía

ALDAY, J.G.; CAMARERO, J.J.; REVILLA, J.; RESCO DE DIOS, V.; 2020. Different and bimodal seasonal patterns and similar diurnal rhythms in radial root growth of coexisting Mediterranean oak species. *Tree Phys.* 40(7): 956–968.

ALDAY, J.G.; SHESTAKOVA, T.A.; RESCO DE DIOS, V.; VOLTAS, J.; 2018. DendroSync: An R package to unravel synchrony patterns in tree-ring networks. *Dendrochronologia* 47: 17-22.

ALDAY, J.G.; SHESTAKOVA, T.A.; RESCO DE DIOS, V.; VOLTAS, J.; 2019. DendroSync: A Set of Tools for Calculating Spatial Synchrony Between Tree-Ring Chronologies. R package v (1), 3.

BARBETA, A.; CAMARERO, J.J.; SANGÜESA-BARREDA, G., MUFFLER, L.; PEÑUELAS J.; 2019. Contrasting effects of fog frequency on the radial growth of two tree species in a Mediterranean-temperate ecotone. *Agri. For. Met.* 264: 297–308.

BARBETA, A.; PEÑUELAS, J.; 2016. Sequence of plant responses to droughts of different timescales: lessons from holm oak (*Quercus ilex*) forests, *Plant Ecol. Divers.*, 9:4, 321-33

BEEDLOW, P.A.; LEE, E.H.; TINGEY, D.T.; WASCHMANN, R.S.; BURDICK, C.A.; 2013. The importance of seasonal temperature and moisture patterns on growth of Douglas-fir in western Oregon, USA. *Agri. For. Met.* 169: 174–185

CAMARERO, J.J.; OLANO J.M.; PARRAS A.; 2010. Plastic bimodal xylogenesis in conifers from continental Mediterranean climates. *New Phy.* 185: 471–480.

COLL, LI.; CAMARERO, J.J.; MARTINEZ DE ARAGON, J.; 2012. Fine root seasonal dynamics, plasticity, and mycorrhization in 2 coexisting Mediterranean oaks with contrasting aboveground phenology. *Écoscience* 19: 238–245.

DEL RÍO, M.; SCHUTZE, G.; PRETZSCH, H.; 2014. Temporal variation of competition and facilitation in mixed species forests in Central Europe. *Plant Biol.* 16 (166–176).

DEL RÍO, M.; VERGARECHEA, M.; HILMES, T.; ALDAY, J.G.; AVDAGÍC, A.; BINDERH, F.; BOSELA, M.; DOBOR, L.; FORRESTER, D.I.; HALILOVIĆ, V.; IBRAHIMSPAHÍĆ, A.; KLOPCIC, M.; LÉVESQUE, M.; NAGEL, T.A.; SITKOVA, Z.; SCHÚTZE, G.; STAJÍC, B.; STOJANOVÍĆ, D.; UHL, E.; ZLATANOV, T.; TOGNETTI, R.; PRETZSCH, R.; 2021. Effects of elevation-dependent climate warming on intra-and inter-specific growth synchrony in mixed mountain forests. *For. Ecol. Manag.* 479: 118587.

MONTSERRAT-MARTI, G.; CAMARERO, J.J.; PALACIO, S.; PÉREZ-RONTOMÉ, C.; MILLA, R.; ALBUIXECH, J.; MAESTRO, M.; 2009. Summer-drought constrains the phenology and growth of two coexisting Mediterranean oaks with contrasting leaf habit: implications for their persistence and reproduction. *Trees*, 23(4), 787-799.

RUIZ DE LA TORRE, J.; 2006. Flora Mayor. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Dirección General para la Biodiversidad, Madrid.

SHESTAKOVA, T.A.; GUTIÉRREZ, E.; KIRDYANOV, A.V.; CAMARERO, J.J.; GÉNOVA, M.; KNORRE, A.A.; LINARES, J.J.; RESCO DE DIOS, V.; SÁNCHEZ-SALGUERO, R.; VOLTAS, J.; 2016. Forests synchronize their growth in contrasting Eurasian regions in response to climate warming. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 113 (662–667).

SHESTAKOVA, T.A.; GUTIÉRREZ, E.; VOLTAS, J.; 2018. A roadmap to disentangling ecogeographical patterns of spatial synchrony in dendrosciences. *Trees*, 32(2), 359-370.

WANG, S.; LAMY, T.; HALLET, L.M.; LOREAU, M.; 2019. Stability and synchrony across ecological hierarchies in heterogeneous metacommunities: linking theory to data. *Ecography* 42, 1200–1211

WOOD S.N.; 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *J. Royal Stat Soc (B)* 73: 3–36.

ZWEIFEL, R.; HAENI, M.; BUCHMANN, N.; EUGSTER, W.; 2016. Are trees able to grow in periods of stem shrinkage? *New Phy.* 211: 839–849.