

PRIMEROS RESULTADOS DE UNA EXPERIENCIA DE CONSTRUCCIÓN DE UN BOSQUE MÁS RESILIENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE EL DEBILITAMIENTO DE LA COMPETENCIA INTERESPECÍFICA *PINUS VS TETRACLINIS*.

Juan Miguel MOYA PÉREZ¹, María Francisca CARREÑO FRUCTUOSO¹, Pablo Francisco MONTOYA BERNABÉU¹, Miguel Ángel ESTEVE SELMA¹

¹Departamento de Ecología e Hidrología. Universidad de Murcia.

jmp41928@um.es , mariafra@um.es, pmb10702@um.es, maesteve@um.es

RESUMEN

El hábitat 9570* “Bosques de *Tetraclinis articulata*” (Prioritario en Directiva 92/43/CEE) se encuentra restringido al sureste de la Península Ibérica. La competencia con *Pinus halepensis* es un elemento de presión para el avance de las poblaciones de *Tetraclinis*. De forma general, *Tetraclinis* es considerado como un competidor débil respecto a *Pinus halepensis* en orientaciones de umbría. Ante el cambio climático, los modelos de distribución de especies (MDE) prevén comportamientos dispares para estos taxones durante la ventana 2020-2050: por un lado se espera una contracción de la superficie ocupada por *P. halepensis* y, por otro, una expansión notable de *T. articulata*. Este trabajo muestra los resultados de una de las actuaciones del proyecto LIFE13 NAT/ES/000436 (conservación de las poblaciones europeas de *T. articulata*) donde se simula mediante 20 parcelas la tendencia de decaimiento del pinar frente al cambio climático y se estudia la respuesta observada en distintos parámetros demográficos de *T. articulata*. Los resultados obtenidos muestran un incremento generalizado en el número de ejemplares maduros, la producción de estróbilos, el reclutamiento de nuevos ejemplares y la tasa de crecimiento demográfico.

Palabras clave: cambio climático, *Tetraclinis articulata*, *Pinus halepensis*, SE de España.

ABSTRACT

Habitat 9570* "Tetraclinis articulata forests" (Priority in Directive 92/43 / EEC) is restricted to the southeast of the Iberian Peninsula. The competition with *Pinus halepensis* is an element of pressure for the *Tetraclinis* population development. Usually, *Tetraclinis* is considered a weak competitor against *Pinus halepensis* in shaded aspects. To climate change, the species distribution models (SDMs) provide different behavior for these taxa during the time slice 2020-2050: on the one hand a contraction of the area occupied by Aleppo pine is expected and, on the other, a significant expansion of *Tetraclinis*. This work shows the results of one of the actions of the LIFE13 NAT/ES/000436 project (conservation of the European populations of *T. articulata*) where the trend of decay of the pine forest against climate change is simulated through 20 sampling plots and the response observed is studied in a number

of *T. articulata* demographic parameters. The results obtained show a generalized increase in the mature specimens number, the cone production, the new specimens recruitment and the demographic growth rate.

Key words: climate change, *Tetraclinis articulata*, *Pinus halepensis*, SE of Spain.

1. INTRODUCCIÓN

Los cambios en la distribución de las especies constituyen respuestas básicas de adaptación a nuevas condiciones climáticas (Bakkenes et al., 2002; Lenihan et al., 2008; Svenning y Skow, 2006; Thomas et al., 2004). Estos cambios podrían provocar pérdidas de biodiversidad particularmente graves en la Europa mediterránea (Svenning y Skow, 2006), favorecer la expansión de especies termófilas (Martínez-Vilalta et al., 2002; Ogaya et al., 2003) e incluso provocar extinciones locales (Valladares et al., 2005). Los modelos de cambio climático disponibles actualmente predicen un incremento generalizado de las temperaturas y una reducción de las precipitaciones (IPCC, 2014). Si bien las tendencias de estas últimas no resultan aún significativas para la Región de Murcia (Ruiz Álvarez et al., 2014), el incremento de las temperaturas y el descenso de la precipitación media anual pueden conllevar una transición hacia un clima más árido.

Las poblaciones naturales del fanerófito iberoafricano *Tetraclinis articulata* se encuentran restringidas en Europa a las sierras de Cartagena y La Unión, en el sureste de la Península Ibérica. Dichas sierras conforman un ecotono entre los matorrales subtropicales de zonas áridas y el bioma típicamente mediterráneo (Walter, 1981). Los ecotonos biogeográficos y áreas de transición bioclimática como el sureste peninsular son especialmente vulnerables al cambio climático por localizarse en estos ámbitos los límites de distribución de numerosas especies, así como muchas especies de distribución restringida (Gosz, 1991; Neilson, 1991). La limitada extensión de *T. articulata* y su rareza dentro del continente europeo lo convierte en Hábitat Prioritario para su conservación según la Directiva 92/43/CEE, catalogado como hábitat 9570*. De forma general, *Tetraclinis* es considerado un competidor débil frente al pino carrasco (*Pinus halepensis*), siendo en las orientaciones Norte donde dicha competencia disminuye el reclutamiento de nuevos ejemplares de *Tetraclinis* (Nicolás et al., 2004). Debido al carácter marcadamente heliófilo de esta especie, la competencia con otros fanerófitos por la luz solar puede retrasar su llegada a la madurez reproductiva. De este modo, las zonas con competencia directa con pino carrasco resultan las que mayor variabilidad presentan en sus tasas de reclutamiento (Esteve-Selma et al., 2017a). Los episodios de mortandad de *P. halepensis* por sequía pueden explicar episodios demográficamente muy activos para *T. articulata* y actúan como oportunidades de expansión para la especie.

Durante el periodo 2014-2016, la Región de Murcia ha sufrido un evento de sequía extrema que ha afectado a la mayor parte de sus comunidades vegetales. Este suceso ha provocado distintos grados de decaimiento en las masas forestales de *P. halepensis*, causando la pérdida o debilitamiento del 13% de la superficie total ocupada por la especie en la región (Esteve-Selma et al., 2017b). Sin embargo, este episodio de

mortalidad del pinar puede suponer una oportunidad de expansión para las poblaciones de *Tetraclinis*.

Los estudios disponibles sobre el comportamiento esperable de estas dos especies respecto al cambio climático para la ventana 2020-2050 en la Región de Murcia señalan un fuerte retroceso de la superficie ocupada por pino carrasco y un incremento del territorio potencial de *T. articulata* (Esteve-Selma et al., 2010; Esteve-Selma et al., 2012; Esteve-Selma et al., 2017b). Esto iría en consonancia con la sustitución del clima típico mediterráneo por unas condiciones más áridas y térmicas que perjudicarían a *P. halepensis*, favoreciendo a su vez la expansión de *T. articulata*. Se abre por tanto una oportunidad única de construir un bosque mixto compuesto por ambas especies que resultaría en un incremento de la resiliencia frente a eventos de sequía e incendios forestales.

En este trabajo se presentan los resultados de una de las actuaciones del proyecto LIFE13 NAT/ES/000436, basada en la realización de clareos en 20 parcelas de una masa de pinar para disminuir la competencia con *T. articulata*, simulando los efectos de varios episodios de sequía en relación con el cambio climático esperado.

Los objetivos de este estudio son: i) comprobar el incremento en la intensidad lumínica en términos de iluminancia tras la tala de ejemplares de *P. halepensis* en las parcelas seleccionadas, ii) estudiar los efectos sobre la madurez reproductiva de *T. articulata*, iii) observar si existe variación en la producción de conos o estróbilos, y iv) estudiar las posibles implicaciones de las actuaciones realizadas sobre la actividad demográfica de *T. articulata*.

2. MÉTODOS

Para la elaboración de este trabajo se han estudiado 20 parcelas circulares de 15 m de radio centradas en ejemplares de *T. articulata*. Las actuaciones, llevadas a cabo en el Parque Regional de Calblanque, Monte de las Cenizas y Peña del Águila, consistieron en la tala de todo ejemplar de *P. halepensis* presente en el interior de estas parcelas a fin de incrementar la cantidad de luz que reciben los ejemplares de *T. articulata*. Durante los muestreos se tomaron datos de cada ejemplar de *Tetraclinis* presente en las parcelas referentes a su diámetro, si había alcanzado o no la madurez reproductiva y el número de conos producidos.

La iluminancia media en *klux* de cada parcela se ha medido en campo con un detector PCE-L335. Se realizaron 4 mediciones por parcela para cada año de muestreo (2016-2018). Dichas mediciones se realizaron entre agosto y septiembre de 2016, mientras que las de 2018 fueron tomadas entre febrero y marzo, respetando siempre las franjas horarias establecidas durante el primer muestreo (de 8:00 a 14:00 h). Los valores de 2018 han sido normalizados respecto a los de 2016 calculando factores de corrección para cada parcela. Para ello se ha utilizado el módulo *r.sun.daily* del software GRASS (2017). Como parámetros de entrada se han utilizado la hoja del modelo digital de elevaciones (resolución 4x4 metros) del proyecto NATMUR-08 correspondiente a la zona de estudio (mds_0978_1-4), los modelos de pendiente y orientación derivados de la misma y una latitud establecida de 37.5°. Para el tratamiento y análisis de los datos se ha utilizado el software estadístico R (2016).

3. RESULTADOS

3.1 Cambios observados en la iluminancia.

La figura 1 muestra la variación de la iluminancia media recibida en las parcelas de estudio. En ella se observa cómo se ha producido un notable incremento de dicho parámetro tras las actuaciones de eliminación del pinar. Los valores mostrados para 2018 han sido normalizados respecto a los tomados en 2016 para evitar el efecto de las distintas fechas de muestreo.

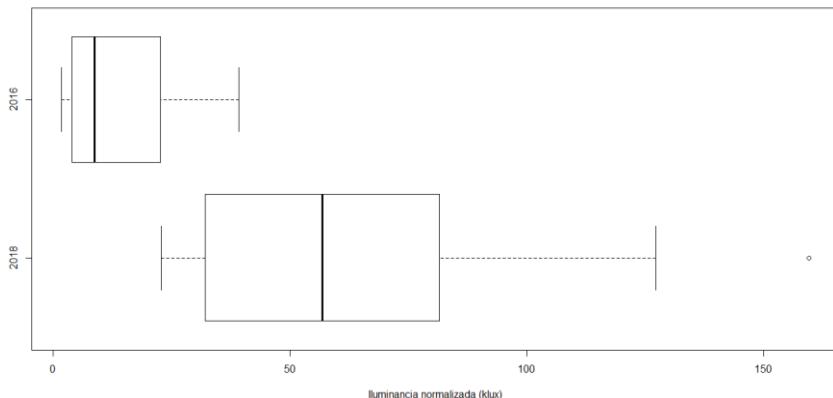


Fig. 1. Iluminancia media de las parcelas de estudio. Valores normalizados.

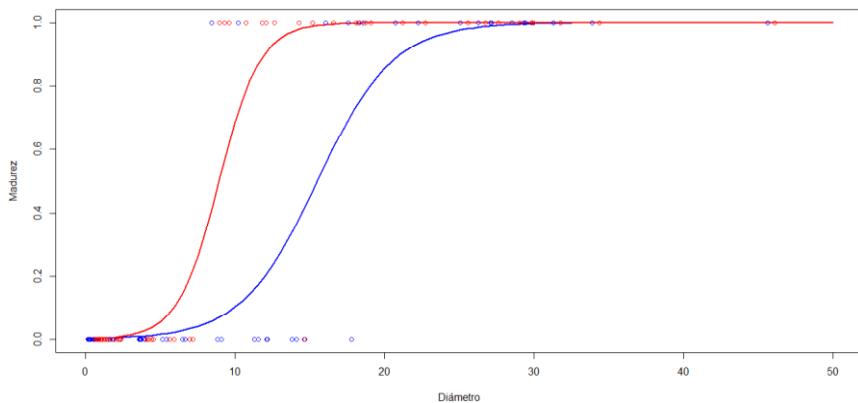
3.2 Cambios en la madurez reproductiva.

En las 20 parcelas muestreadas en 2016 se encontraron un total de 71 ejemplares de *T. articulata*, de los cuales 18 eran ejemplares maduros. En el seguimiento posterior de 2018 se ha constatado la existencia de 28 ejemplares reproductores, lo que se traduce en un incremento del 64.28%. La tabla 1 resume los resultados de los modelos GLM sobre la madurez reproductiva y el diámetro de los ejemplares. Puede observarse que el coeficiente casi llega a doblarse en sólo dos años, lo que supone un aumento súbito de la madurez respecto del diámetro.

Variable dependiente	Variable independiente	Constante	Coeficiente	p-valor	Devianza explicada
Madurez 2016	Diámetro 2016	-6.0909	0.3930	0.00074***	72.38%
Madurez 2018	Diámetro 2018	-6.4418	0.7219	0.000982***	84.24%

Tabla 1. Modelos GLM de madurez reproductiva respecto al diámetro de los ejemplares en 2016 y 2018.

Efectivamente, los cambios en la madurez reproductiva resultan apreciables en la figura 2, donde se puede observar cómo ejemplares que no producían conos en 2016 sí que lo hacen en 2018. En general, se puede decir que los tamaños de diámetro requeridos para alcanzar la madurez reproductiva se han visto reducidos a la mitad tras la actuación de eliminación ejemplares de *P. halepensis* de las parcelas de estudio.



*Fig. 2. Modelos GLM de madurez reproductiva de los ejemplares estudiados. (Línea azul: GLM de 2016, Línea roja: GLM de 2018, Puntos azules: *T. articulata* en 2016, Puntos rojos: *T. articulata* en 2018)*

La figura 3 muestra la diferencia entre las curvas anteriores. Se observa un cambio de más del 50% en la probabilidad de madurez de los ejemplares en torno a 12 ± 2.5 cm de diámetro, que corresponden de forma general a cohortes entre los 20 y 30 años de edad.

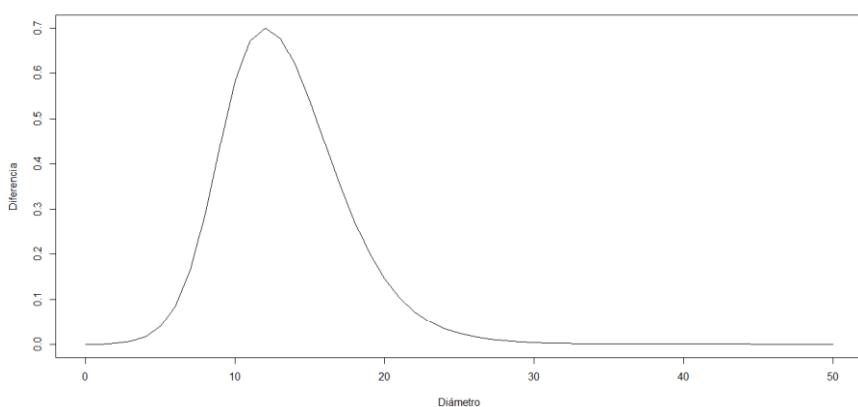


Fig. 3. Diferencia entre las curvas de madurez según diámetro obtenidas para 2016 y 2018.

3.3 Variación de la producción de conos.

La figura 4 muestra la diferencia en la producción de conos para los años 2016 y 2018. Se observa un incremento en la mediana de dicha producción y unos valores máximos mucho más elevados.

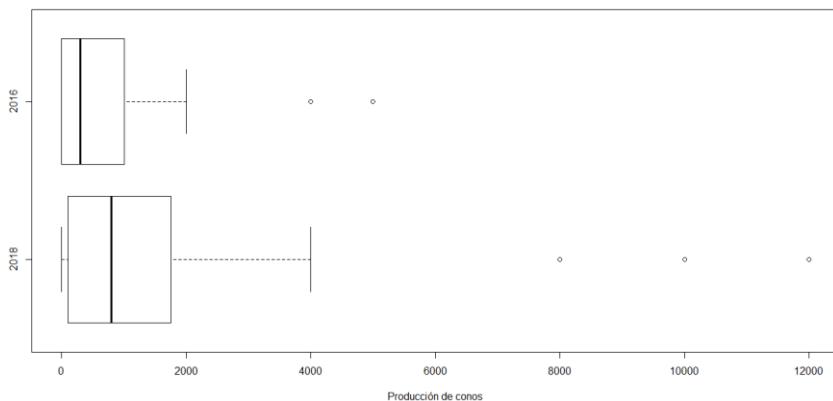


Fig. 4. Producción de conos en 2016 y 2018.

La tabla 2 refleja la producción de conos totales y la media por ejemplar maduro. El número total de conos producidos se ha visto multiplicado por tres y también se ha doblado el número medio por adulto reproductor. Por último, se ha obtenido el porcentaje de vecería (ejemplares maduros que no producen conos durante ese año) para cada anualidad estudiada y resultan muy similares.

Año	Media por adulto	Conos totales	Vecería
2016	905	16300	17%
2018	1849	51770	18%

Tabla 2. Producción de conos en 2016 y 2018.

3.4 Implicaciones sobre el crecimiento demográfico.

Los cambios en el reclutamiento de ejemplares juveniles pueden observarse en la tabla 3. Según el recuento directo efectuado durante el muestreo de campo, en las cohortes más juveniles (hasta 2 años) se pasa de 24 ejemplares en 2016 a 40 en 2018. Las estimas de reclutamiento representan el número de germinaciones que sobreviven al primer invierno que deben haberse producido para obtener el número final de ejemplares juveniles censados.

Cohortes juveniles (<1 y 1-2 años)	2015-2016	2017-2018
Censos directos	24 ejemplares	40 ejemplares
Estima de reclutamiento	48 ejemplares	70 ejemplares

Tabla 3. Cambios en el reclutamiento de ejemplares juveniles.

El incremento sufrido en la tasa media anual de crecimiento demográfico (r) para las parcelas estudiadas se muestra en la tabla 4. En esta tabla también se recogen los valores de esta tasa para los periodos 1990-2000 y 1940-2008 recogidos por Esteve et al. (2017a) para el conjunto de la población.

Periodo	Zona	Tasa media anual de crecimiento demográfico (r)
1940-2008	Madroñal	9.0% (tasa alta) Esteve et al. (2017a)
1990-2000	Madroñal	5.3% (tasa media) Esteve et al. (2017a)
2015-2016	Parcelas de estudio	6.8% (tasa media)
2017-2018	Parcelas de estudio	9.1% (tasa alta)

Tabla 4. Tasas de crecimiento demográfico.

4. DISCUSIÓN

Los patrones de respuesta esperados para los bosques costeros de la región de Murcia frente al cambio climático parecen coincidir con las hipótesis más extendidas para estos ecosistemas: la disminución de especies forestales mediterráneas de perfil biogeográfico más septentrional como *Pinus halepensis* y una expansión inicial de las especies iberoafricanas como *Tetraclinis articulata* (Esteve-Selma et al., 2010, 2012 y 2017b). A este respecto, en la localidad de estudio se han observado mortandades significativas de hasta el 20% de ejemplares adultos de *P. halepensis* durante el episodio de sequía de 2014-2016 (datos de Esteve-Selma et al., 2017b). Sin embargo, este mismo episodio no ha causado afecciones apreciables en individuos maduros de *Tetraclinis*.

Normalmente, los procesos de sustitución entre especies no son inmediatos y resulta esperable que tengan grandes dificultades de acoplamiento. Los eventos de mortandad pueden ocurrir a una velocidad muy distinta a los de colonización, siendo los primeros en forma de pulsos rápidos respecto a los segundos lentos y continuos. Esta restricción puede ser decisiva cuando ambos tipos de bosques se encuentran distanciados en el espacio. En esos casos se sugieren medidas de colonización asistida para salvar estas limitaciones (Heller & Zabaleta, 2009).

En la localidad objeto de este estudio (Monte de las Cenizas), los bosques son mixtos *Pinus-Tetraclinis* (320 pinos maduros/ha frente a 12 *Tetraclinis* maduros/ha) por lo que inicialmente la sustitución de una especie por otra parece asegurada. No obstante, para que los vacíos (o *gaps*) que deja en la matriz forestal la mortandad de ejemplares de *P. halepensis* puedan ser colonizados por *Tetraclinis* deben darse al menos dos circunstancias: que haya una buena fuente de semillas cercana y que no hayan barreras importantes para la dispersión (como la propia cubierta foliar de los pinos). La competencia ecológica entre estas dos especies de coníferas es una idea propuesta por varios autores (Benhabid, 1984; Nicolás et al., 2004, Esteve-Selma, 2009). En orientaciones de umbría, con unos bosques densos dominados mayoritariamente por pinos, la competencia ejercida sobre una especie heliófila como *Tetraclinis* dificulta la existencia de ambos factores (buena producción de semillas y dispersión sin barreras). Otros aspectos ligados a los micrositios de germinación y la existencia de plantas facilitadoras del reclutamiento quedan para ser discutidos en otra ocasión.

Con la eliminación de los pinos directamente competidores por la luz y otros recursos, las formaciones de *Tetraclinis* intervenidas han mostrado en sólo dos años una mejoría muy significativa en el número de árboles maduros, la producción total de estróbilos (que conllevaría una media de 5 semillas/estróbilo) y consecuentemente en las tasas de reclutamiento. De todos los parámetros que se han incrementado, el número de ejemplares maduros (tamaño de la población efectiva) es el que más influye en las tasas finales de crecimiento demográfico (Esteve et al. 2017a). Fenómenos análogos ocurridos en las últimas décadas (otras sequías o incendios forestales) han quedado reflejados en las cohortes y estructura de edades de distintos núcleos reproductivos de *Tetraclinis* en el Madroñal o en Peña del Águila (Esteve et al. 2107a). En cualquier caso, la consecución a corto y medio plazo de un bosque mixto numéricamente más equilibrado de *Pinus* y *Tetraclinis* supondrá disponer de unas masas forestales más resilientes en relación con el cambio climático y también con los incendios forestales, pues ambas especies presentan respuestas muy diferentes frente a los efectos del fuego (*Pinus*: reclutador, *Tetraclinis*: rebrotador).

Según los escenarios de cambio climático previstos para ambas especies, *Tetraclinis* dejará de ser un competidor débil y tendrá más posibilidades de competir frente a *Pinus halepensis* por el espacio ocupado. Este proceso se dará de forma natural pero las masas de pino debilitadas no tienen por qué coincidir en el espacio con núcleos de ejemplares de *Tetraclinis* capaces de incorporarse de inmediato a la población reproductivamente efectiva (en una situación pre-reproductiva latente por falta de iluminación). Este es uno de los resultados más interesantes del presente trabajo, la determinación de las cohortes-objetivo de *Tetraclinis* para su incorporación inmediata a la población demográficamente efectiva. Dichas cohortes podrían suponer localmente en torno a 300 ejemplares nacidos hace 20-30 años según estudios previos (Esteve et al. 2017a). Los resultados aquí expuestos sugieren que puede resultar muy útil conocer al detalle el patrón espacial de las masas de pinos debilitados en relación a la de los ejemplares de *Tetraclinis* preadultos latentes (cohortes objetivo). De ambos se dispone ya de una primera cartografía que será analizada con precisión en futuros trabajos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación aportada por el proyecto LIFE13 NAT/ES/000436 para la conservación de las poblaciones europeas de *T. articulata*.

REFERENCIAS

- Bakkenes M, Alkemade JRM, Ihle F, Leemans R, Latour J (2002) *Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050*. Glob Change Biol 8:390–407.
- Benhabid, A. (1984). *Étude phytoécologique des peuplements forestiers et préforestiers du Rif centrooccidental (Maroc)*. Travail Institute Sciences Séries Botaniques (Rabat) 34: 1-64.
- Esteve-Selma, M.A. (2009) *Bosques de Tetraclinis articulata*. In: Manual de directrices ecológicas para la conservación de los tipos de habitat de interés comunitario en España, Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- Esteve-Selma, M.A., Martínez-Fernández, J., Hernández, I., Montávez, J.P., Lopez, J.J., Calvo-Sendín, J.F., Robledano, F. (2010) *Effects of climatic change on the distribution and conservation of Mediterranean forests: the case of Tetraclinis articulata in the Iberian Peninsula*. Biodiversity and Conservation, 19: 3809-3825.
- Esteve-Selma, M.A., Martínez-Fernández, J., Hernández-García, I., Montávez-Gomez, J.P., Lopez-Hernández, J.J., Calvo, J.F. (2012) *Potential effects of climatic change on the distribution of Tetraclinis articulata, an endemic tree from arid Mediterranean ecosystems*. Climatic Change, 113(3-4): 663-678.
- Gosz, J.R. (1991) *Fundamental ecological characteristics of landscape*. In: Holland MM, Risser PG, Naiman RJ (eds) Ecotones. Chapman & Hall, London, pp 8–30.
- Esteve-Selma, M.A., Montoya, P., Moya, J.M., Miñano, J., Hernández, I., Carrión, J.S., Charco, J., Fernández, S., Munuera, M. & Ochando, J. (2017a) *Tetraclinis articulata: biogeografía, ecología, amenazas y conservación*. Dirección General de Medio Natural. 248 pp.
- Esteve-Selma, M. A., Carreño, M. F., Moya Pérez, J. M., Montoya, P., Martínez, J., Pérez, M.A. & Lloret, F. (2017b) *La respuesta de los bosques de "Pinus halepensis" al cambio climático y los eventos de sequía extrema: modelos preliminares*. In Riesgos Ambientales en la Región de Murcia (pp. 163-185). Editum Ediciones de la Universidad de Murcia.
- GRASS (2017) Development Team: Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Open Source Geospatial Foundation Project, available at: <http://grass.osgeo.org>.
- Heller, N.E., Zabaleta, E.S. (2009) *Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations*. Biol Conserv 142:14–32.
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

- Lenihan, J.M., Bachelet, D., Neilson, R.P., Drapek, R. (2008) *Response of vegetation distribution, ecosystem productivity and fire to climate change scenarios for California*. Clim Change 87:S215–S230.
- Martínez-Vilalta J, Piñol J, Beven K (2002) *A hydraulic model to predict drought-induced mortality in woody plants: an application to climate change in the Mediterranean*. Ecol Model 155:127–147.
- Neilson, R.P. (1991) *Climatic constraints and issues of scale controlling regional biomes*. In: Holland MM, Risser PG, Naiman RJ (eds) Ecotones. Chapman & Hall, New York, pp 31–51.
- Nicolás Pereñez, M.J., Esteve-Selma, M.A., Palazón, J.A., Lopez Hernandez, J.J. (2004) *Modelo sobre las preferencias de hábitat a escala local de Tetraclinis articulata (Vahl) Masters en una población de su área de distribución*. Anales de Biología 26: 157–167.
- Ogaya R, Peñuelas J, Martínez-Vilalta J, Mangirón M (2003) *Effect of drought on diameter increment of Quercus ilex, Phillyrea latifolia and Arbutus unedo in a holm oak forest of NE Spain*. For Ecol Manag 180:175–184.
- R Core Team (2016) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ruiz-Álvarez, V., Sánchez-Lorenzo, A., García-Marín, R. (2014) *Creación de una base de datos con series largas de precipitación en la Región de Murcia y análisis temporal de la serie media anual, 1914-2013*. Revista de climatología, 14: 81–97.
- Svenning JC, Skow F (2006) *Potential impact of climate change on the northern nemoral forest herb flora of Europe*. Biodivers Conserv 15:3341–3356.
- Thomas C, Cameron A, Green R, Bakkenes M, Beaumont L, Collingham Y, Erasmus B, Ferreira M, Grainger A, Hannah L, Hughes L, Jaarsveld A, Midgley G, Miles L, Ortega-Huerta M, Peterson A, Philips O, Williams S (2004) *Extinction risk from climate change*. Nature 427:145–148.
- Valladares F, Peñuelas J, Luis E (2005) *Impactos sobre los ecosistemas terrestres*. In: Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp 65–112.