



Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 47(1): 15-26 (2021)
Doi: <https://doi.org/10.31167/csecfv5i47.19915>

Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales

Acceso abierto disponible en <http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernossecf/index>

Premio Universitario de la SECF a la mejor Tesis Doctoral

Efectos de la variación ambiental sobre la reproducción de dos especies de ciervos ampliamente distribuidas

**Effects of environmental variation on the reproduction
of two widespread cervid species**

Peláez, M.*

*E.T.S.I. Montes, Forestal y del Medio Natural.
Universidad Politécnica de Madrid. C/ José Antonio Novais, 10, 28040, Madrid.*

* Autor para correspondencia: marta.pelaez@upm.es

Resumen

El objetivo principal de esta tesis doctoral ha sido evaluar el efecto de la variación ambiental sobre la reproducción de diferentes poblaciones de ciervo (*Cervus elaphus*) y corzo (*Capreolus capreolus*) situadas en el límite de su área de distribución, como son la región Mediterránea y la región Alpina. Estas poblaciones marginales pueden aportar una información muy valiosa en el contexto actual de cambio climático ya que pueden ayudar a predecir futuros cambios demográficos y de distribución de las especies.

Como resultado principal, se ha observado que el incremento en la duración e intensidad de las sequías en ambientes mediterráneos y el adelantamiento del comienzo de la primavera en ambientes alpinos como consecuencia del cambio climático pueden provocar un desacople entre las principales etapas del ciclo reproductivo de ambas especies (como los partos o la formación de las cuernas) y el máximo de producción primaria. Todo esto podría afectar negativamente al éxito reproductivo de los ciervos y corzos que viven en estos ambientes.

Palabras clave: ambientes mediterráneos, ambientes alpinos, tamaño de la cuerna, época de cría, fecha de concepción, partos, tamaño de la camada.

Summary

The main goal of this Doctoral dissertation was to assess the effect of environmental variation on the reproduction of red deer (*Cervus elaphus*) and roe deer (*Capreolus capreolus*) populations living at the edge of their range (i.e. Mediterranean and Alpine ecosystems). This is important because, in the context of climate change, edge populations may provide key information to understand the evolution of species under harsher climatic conditions, helping to predict future demographic changes and distribution shifts.

Results revealed that, overall, the increasingly longer and more severe drought in Mediterranean areas and the advanced spring phenology and higher temperatures in Alpine locations induced by climate change may produce a misalignment between the timing of key reproductive events (i.e. parturition or antler formation) and the peak of plant productivity. Therefore, this could negatively impact the performance of red- and roe deer living in these environments.

Keywords: Mediterranean environments, alpine environments, antler size, breeding phenology, conception date, parturition date, litter size.

1. Introducción

Las poblaciones que habitan en el límite del área de distribución de su especie experimentan, a menudo, condiciones ambientales más extremas que las poblaciones ubicadas en hábitats más centrales (Kawecki, 2008). Por lo tanto, el estudio de estas poblaciones marginales es crucial para comprender cómo las especies han evolucionado y se han adaptado a condiciones ambientales subóptimas. Además, pueden aportar una información muy valiosa en el contexto actual de cambio climático ayudando a predecir futuros cambios demográficos y de distribución de las especies (Büntgen *et al.*, 2017; Chevin y Hoffmann, 2017).

El objetivo principal de esta tesis doctoral ha sido evaluar el efecto de la variación ambiental sobre la reproducción de diferentes poblaciones de ciervo (*Cervus elaphus*) y corzo (*Capreolus capreolus*) situadas en el límite de su área de distribución, como son las que habitan la región Mediterránea (límite meridional) y la alpina (límite altitudinal). Ambas regiones tienen condiciones ambientales muy contrastadas respecto a las zonas que constituyen el hábitat central de ambas especies y, por lo tanto, imponen grandes restricciones a los ciclos reproductivos de estas especies (Stearns, 1992). En concreto, el clima mediterráneo se caracteriza por una larga sequía estival. Esto implica que el periodo de máximo requerimiento nutricional de las hembras, la lactación, coincida con el periodo de menor disponibilidad de alimento de calidad, el verano (San Miguel *et al.*, 1999; Bugalho y Milne, 2003). En cuanto a las regiones alpinas, los factores limitantes son la dureza de los inviernos, las primaveras tardías y una estación de crecimiento vegetativo relativamente corta (Schmidt, 1993). Por lo tanto, la ventana óptima de tiempo para que ocurran los partos, la lactación y el crecimiento de las crías es relativamente corta aunque, afortunadamente, durante este periodo los recursos alimenticios son abundantes y de calidad (Suttie y Webster, 1995). Además, a causa del calentamiento global, en ambas zonas se predicen cambios climáticos acusados, con un adelanto de la fenología en primavera y un aumento generalizado de las temperaturas en las zonas alpinas (Menzel, 2000; IPCC, 2013; Klein *et al.*, 2016) y con sequías cada vez más frecuentes y severas en las regiones mediterráneas (Peñuelas *et al.*, 2002; IPCC, 2007; Hoerling *et al.*, 2012). En este contexto, el estudio a largo plazo de estas poblaciones puede proporcionar información sobre cómo reaccionarán ante futuros escenarios climáticos.

Las poblaciones de cérvidos han sido objeto de un amplio seguimiento y estudio en muchas partes de Europa (véase Vanpé, 2007, p. 65). De hecho, la mayor contribución a la comprensión de la dinámica de las poblaciones de estas especies se basó en el seguimiento a largo plazo de poblaciones de ciervos del centro y norte de Europa (e.g. Isle of Rum en Escocia: Clutton-Brock, Guinness y Albon, 1982; Trois Fontaines y Chizé en Francia: Gaillard *et al.*, 1993; Bogesund en Suecia: Kjellander *et al.*, 2004). Sin embargo, aún se necesitan más estudios a largo plazo que describan cómo varía la dinámica de las poblaciones en el límite sur y altitudinal del área de distribución de estas especies.

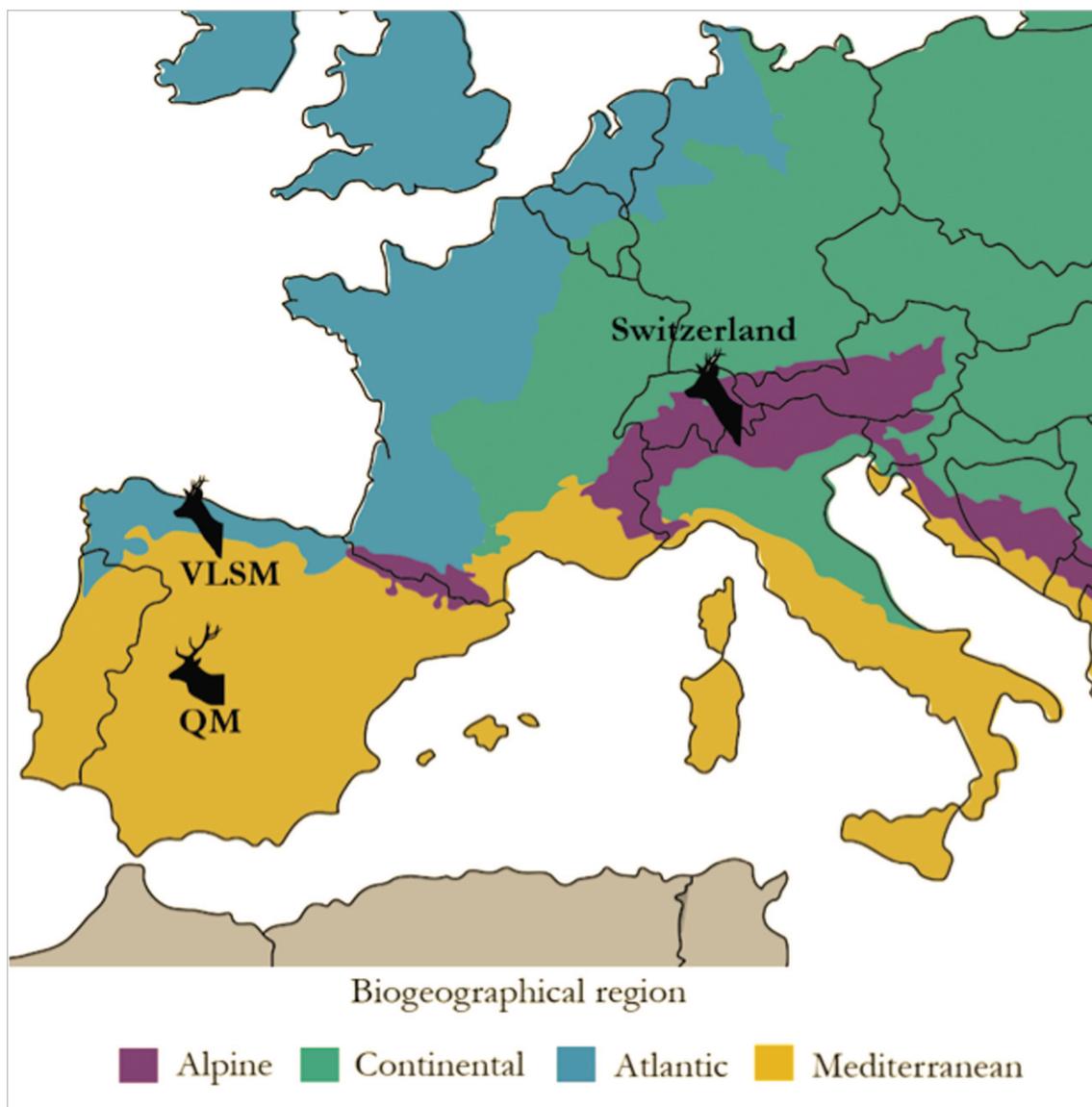


Figura 1. Áreas de estudio y especies de estudio. Adaptado de: European Environment Agency (www.eea.europa.eu). Los Quintos de Mora (QM) en el centro de la península ibérica, con clima Mediterráneo; Valsemana (VLSM), en el noroeste de la Península y con clima submediterráneo y Los Alpes suizos (Switzerland) que presentan un clima alpino y subalpino.

Esta tesis está estructurada en tres capítulos que incluyen seis estudios científicos realizados sobre poblaciones de cérvidos situadas en el límite sur y altitudinal de su área de distribución (*Figura 1*):

- El capítulo I tiene como objetivo analizar cómo la variación ambiental afecta a la fenología reproductiva de las hembras de ambas especies, con un enfoque especial en las implicaciones para la especie en el contexto del cambio climático.

- El capítulo II intenta comprender el efecto de las condiciones ambientales (latitud y elevación) sobre la fecundidad de las hembras de corzo.
- El capítulo III analiza cómo las condiciones ambientales y los factores individuales influyen en el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios de los machos (cuernas y tamaño corporal) en ambientes mediterráneos.

2. Fenología reproductiva de las hembras

Una adaptación importante de las especies a los ambientes estacionales es la optimización del momento de la reproducción, ya que, al ser un proceso muy costoso en términos de inversión de energía, debe sincronizarse con el momento óptimo de abundancia de recursos (Boyce, 1979). Por ello, una de las preguntas centrales en el contexto del cambio climático es si las especies serán capaces de adaptarse lo suficientemente rápido a los cambios ambientales y qué mecanismos estarán involucrados en dicha respuesta (Visser, 2008).

En el **capítulo I** se analiza el efecto de diferentes variables ambientales en la fenología reproductiva de ambas especies tanto en el plano temporal como en el espacial para determinar, en primer lugar, los factores ambientales que condicionan la fenología reproductiva de estas especies y, en segundo lugar, para saber si serán capaces de modificar su ciclo reproductivo ante los rápidos cambios en la fenología de las plantas provocados por el cambio climático.

En el **estudio 1**, nos centramos en una población de ciervo, que habita en un entorno mediterráneo, para estudiar los factores que influyeron en la variación interanual de las fechas de concepción durante un periodo de 11 años.

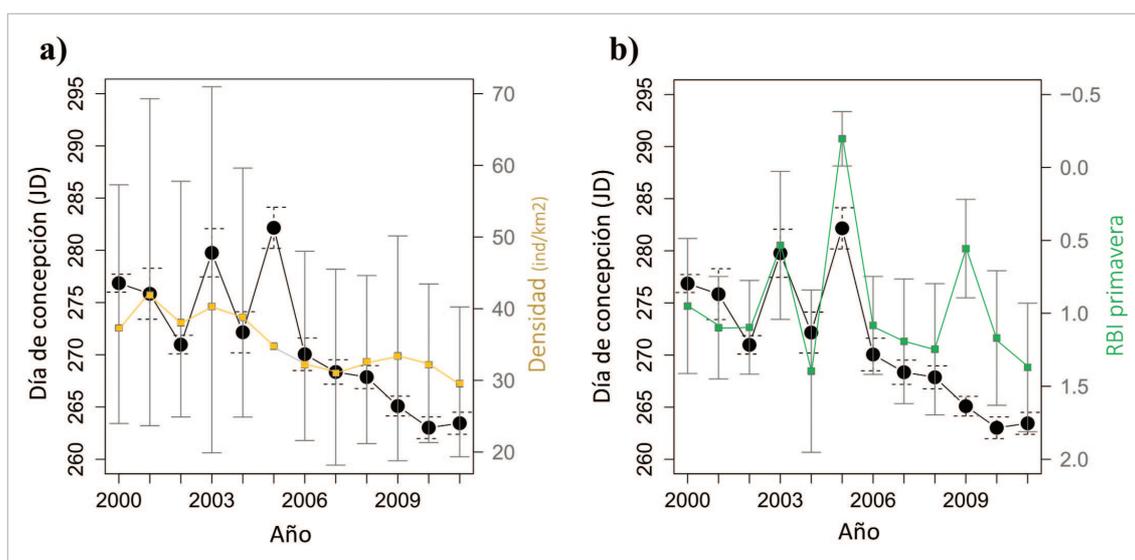


Figura 2. Fecha de concepción media de las hembras (•) cada año (día juliano [JD] \pm SE) en relación a (a) la densidad de ciervo cada año (densidad (●) \pm CV) y (b) Índice bioclimático real de primavera (RBI primavera (●) \pm SD). Adaptado de: Pelález et al., 2017.

Como se puede observar en la *Figura 2*, las hembras de ciervo mostraron una gran variabilidad interanual en su época de concepción, siendo los rasgos poblacionales como la densidad y la disponibilidad de alimento (RBI de primavera) los factores más importantes. De este modo, las hembras concibieron más tarde los años con primaveras secas o con altas densidades poblacionales, lo que podría provocar un desajuste entre la época de partos y los recursos alimenticios, al parir casi al principio del verano, cuando ya no hay hierba verde y el alimento es de muy baja calidad para la lactación. Además, se observó una interacción significativa entre densidad y disponibilidad de alimento que podría indicar que, al reducirse la densidad de ciervos, el efecto negativo de las sequías sobre la fecha de concepción podría disminuir, probablemente porque, al ser menos, la capacidad de selección de alimento aumenta.

Los **estudios 2 y 3** evalúan la capacidad del corzo de modificar su época de partos, tanto en el espacio como en el tiempo. En cuanto a la variación espacial, se realizó un estudio con distintas poblaciones a lo largo de un gradiente latitudinal y altitudinal muy amplio en los Alpes suizos y se observó que los partos de las corzas se atrasaron al incrementar ambos gradientes. También, de manera muy clara, se observó un aumento en la sincronización de los partos con la altitud (*Fig. 3*), pero no con la latitud.

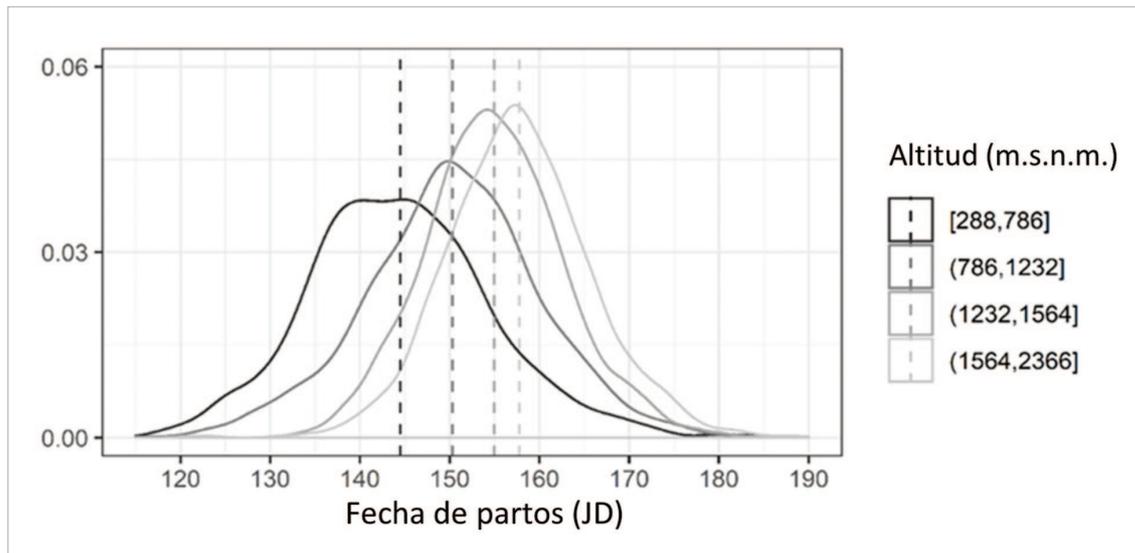


Figura 3. Fecha media de partos (líneas discontinuas verticales) y sincronización de la época de partos (líneas continuas) según la altitud expresado en días julianos (JD). Adaptado de: Peláez *et al.*, 2020.

Sin embargo, en cuanto a la variación de la época de partos en el tiempo, las hembras mostraron poca plasticidad para adelantar rápidamente los partos y así sincronizarse con el —cada vez más temprano— comienzo de la primavera en los Alpes. Esto produjo un desacople entre la época óptima para el parto y el momento de mayores recursos energéticos para las hembras (*Fig. 4*). Esto fue mucho más pronunciado en las zonas de baja altitud (<1000 m.a.s.l) donde se pudo observar que,

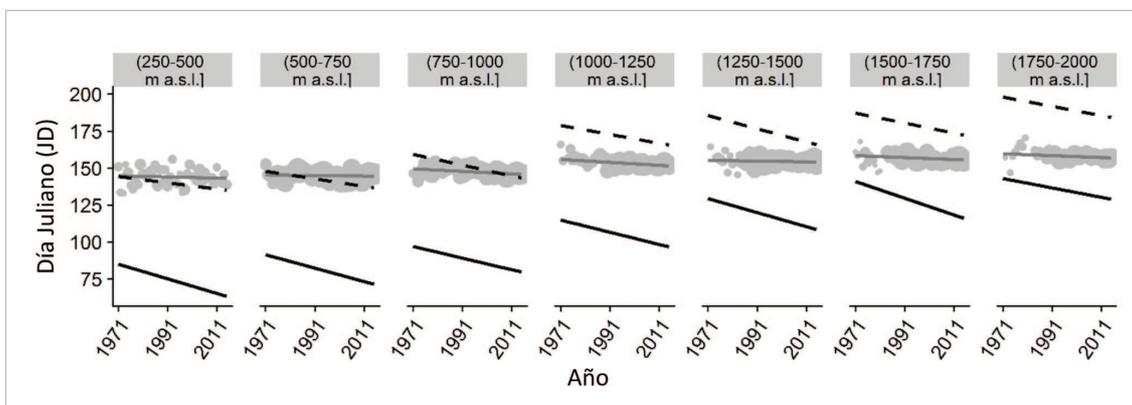


Figura 4. Diferencia entre el momento óptimo para que sucedan los partos (espacio delimitado entre la línea negra sólida y la línea negra discontinua) y la época real de partos (línea gris y puntos grises) durante un periodo de 45 años. Adaptado de: Rehnus, Pelález y Bollman, 2020.

en un periodo de 45 años, la época de partos se ha desacoplado significativamente del momento óptimo de disponibilidad de recursos (*Fig. 4*).

3. Variación en el tamaño de la camada

Obtener estimaciones precisas de los parámetros demográficos a escala macrogeográfica es importante para predecir las tendencias poblacionales de una especie (Gaillard *et al.*, 2013). Esto es particularmente importante debido a los impactos potenciales del calentamiento global en los organismos terrestres (Parmesan y Yohe, 2003; Brook *et al.*, 2009). El tamaño de la camada (i.e. número de crías producidas

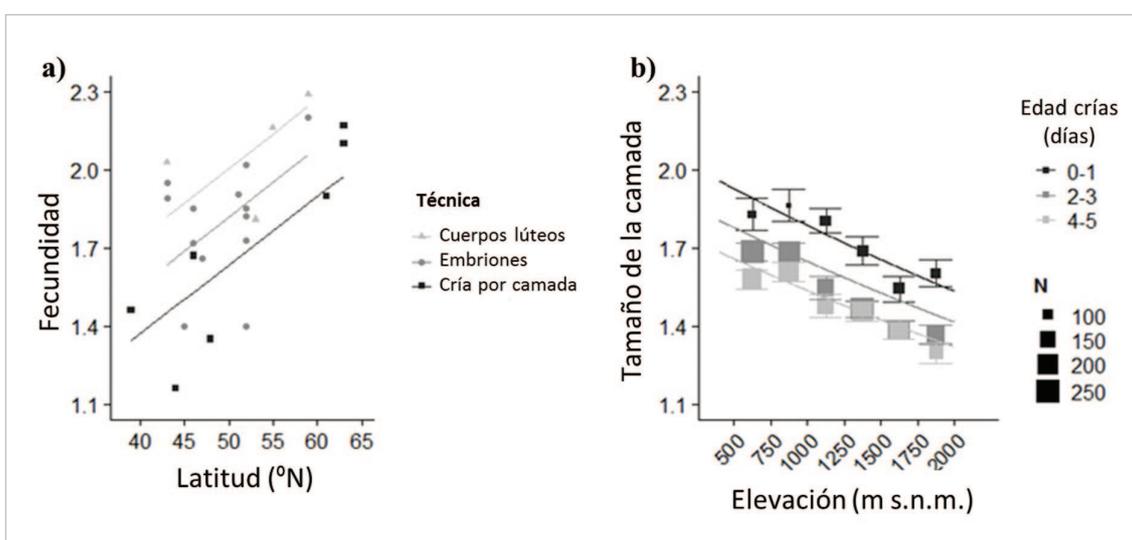


Figura 5. a) Variación del tamaño de la fecundidad (medida a través de los cuerpos lúteos, embriones y crías por camada) según la latitud. b) Variación del tamaño de la camada según la elevación indicando la edad a la que se encontraron las crías ya que influye en la estimación. Figura no publicada.

por una hembra por parto) es un componente importante del reclutamiento que modula las tendencias demográficas. Sin embargo, todavía hay un gran desconocimiento sobre cómo las condiciones ambientales actuales influyen en la variación en el tamaño de la camada de los grandes mamíferos a escala macroecológica.

En el **capítulo II** se estudió la variación de un parámetro demográfico muy importante del corzo, como es el tamaño de la camada, a lo largo de ambos gradientes geográficos, el latitudinal y el altitudinal, basándonos, fundamentalmente, en datos de corzos marcados al nacer (**estudio 4**). Los resultados sugirieron un aumento en el tamaño de la camada con el incremento en latitud, pero una disminución al aumentar la elevación (*Fig. 5*). Esta relación opuesta, conocida como la paradoja del gradiente de fecundidad, no se había comprobado anteriormente en ningún otro ungulado, aunque ocurre de manera similar en aves.

4. Desarrollo de caracteres sexuales secundarios en machos

Si bien el éxito reproductivo de las hembras depende de su capacidad para proporcionar recursos alimenticios de calidad y un entorno seguro para sus crías, el éxito reproductivo de los machos depende de su capacidad para acceder a reproducirse con las hembras (Trivers, 1972). Por lo tanto, los machos participan en competiciones intensas o agresivas que probablemente den ventaja a los animales con rasgos desarrollados para luchar o atraer hembras (Clutton Brock *et al.*, 1982). En cérvidos, los rasgos fundamentales para el éxito reproductivo de los machos son el tamaño corporal, la fuerza y el desarrollo de las cuernas (Clutton-Brock, *et al.*, 1982).

Por lo tanto, el **capítulo III** analiza cómo las condiciones ambientales y los factores individuales afectan al desarrollo de los caracteres sexuales secundarios de los machos (cuernas y tamaño corporal) en ambientes mediterráneos.

El **estudio 5** investiga los factores que más influyen en la variación interanual del tamaño de las cuernas de los machos de ciervo en clima mediterráneo (*Fig. 6*). Como resultado, se obtuvo que los rasgos poblacionales (como la densidad) y la disponibilidad de alimento (RBI de primavera y abundancia de bellotas) fueron los factores más relevantes. Además, de la misma manera que en el estudio 1, se encontró una interacción significativa entre la densidad poblacional y las variables que representan la disponibilidad de alimento.

Finalmente, en el **estudio 6**, se observó que una alta inversión de los corzos jóvenes en cuernas es un buen indicador de su rendimiento futuro en ambientes submediterráneos, reflejándose en un mayor tamaño de las cuernas y tamaño corporal durante la edad adulta (Peláez *et al.*, 2021).

5. Conclusiones

El incremento en la duración e intensidad de las sequías en ambientes mediterráneos y el adelantamiento del comienzo de la primavera en ambientes alpinos

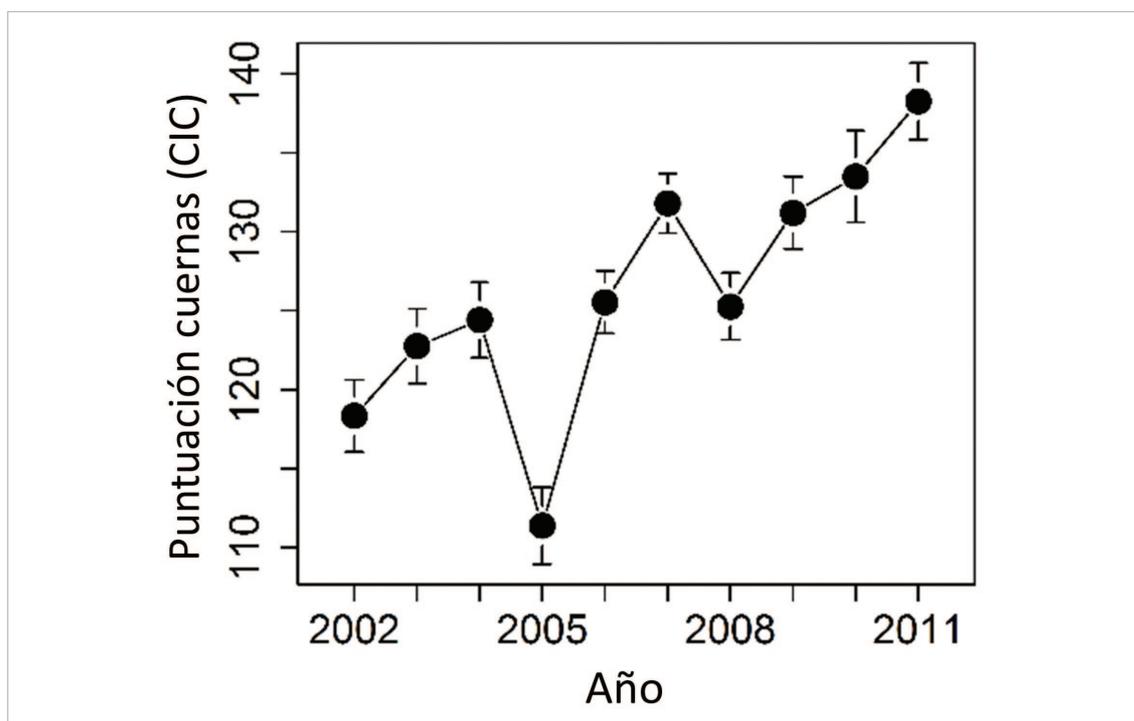


Figura 6. Variación interanual de las cuernas de ciervo en los Quintos de Mora entre los años 2001-2011. Los datos se obtuvieron de desmogueos recogidos cada año en el campo. La puntuación de las cuernas está medida siguiendo las indicaciones del International Council for Game and Wildlife Conservation (CIC). Adaptado de: Peláez *et al.*, 2018.

como consecuencia del cambio climático pueden provocar un desfase entre los eventos clave del ciclo reproductivo de ambas especies (como los partos o la formación de las cuernas) y el máximo de producción primaria. Todo esto podría afectar negativamente al éxito reproductor y rendimiento de los ciervos y corzos que viven en estos ambientes.

Es necesario destacar la importancia de reducir la densidad de las poblaciones de ciervos en ambientes mediterráneos, para así disminuir el impacto de eventos de sequía severa. Por último, la poca plasticidad mostrada por los corzos para adelantar rápidamente los partos a lo largo del gradiente altitudinal pone en evidencia la necesidad de implementar medidas de gestión adaptativa para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático en ambientes alpinos.

Agradecimientos y financiación

Este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda y el apoyo de mis directores de tesis, el Catedrático Alfonso San Miguel y el Dr. Ramón Perea García-Calvo, a los que aprecio y admiro. Tampoco habría sido posible sin la inestimable ayuda de mis supervisores durante las estancias en la Universidad de Stanford (Prof. Dirzo), Laval en Canadá (Prof. Côté) y en Lyon Francia (Prof. Gaillard). Por último, agradezco es-

pecialmente a todas las personas que han hecho posible la toma de datos en Los Quintos de Mora, Valsemana y en Suiza (proyecto Rehkitzmarkierung Schweiz).

Esta tesis doctoral ha sido financiada por el MECED a través de un contrato predoctoral (FPU13/00567). Las estancias en el extranjero han sido financiadas por ayudas de movilidad del Ministerio de Educación (EST14/00304 y EST16/00095) y del Consejo Social de la UPM.

6. Bibliografía

- Boyce, M.S.; 1979. Seasonality and patterns of natural selection for life histories. *The American Naturalist*, 114(4), 569–583. <https://doi.org/10.1086/283503>
- Brook, B.W.; Akçakaya, H.R.; Keith, D.A.; Mace, G.M.; Pearson, R.G.; Araújo, M.B.; 2009. Integrating bioclimate with population models to improve forecasts of species extinctions under climate change. *Biology Letters*, 5, 723–725. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0480>
- Bugalho, M.N.; Milne, J.A.; 2003. The composition of the diet of red deer (*Cervus elaphus*) in a Mediterranean environment: a case of summer nutritional constraint? *Forest Ecology and Management*, 181(1-2), 23–29. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00125-7)
- Büntgen, U.; Greuter, L.; Bollmann, K.; Jenny, H.; Liebhold, A.; Galván, J.D.; ... Mysterud, A.; 2017. Elevational range shifts in four mountain ungulate species from the Swiss Alps. *Ecosphere*, 8(4), e01761. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1761>
- Chevin, L.M.; Hoffmann, A.A.; 2017. Evolution of phenotypic plasticity in extreme environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1723), 20160138. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0138>
- Clutton-Brock, T.H.; Guinness, F.E.; Albon, S.D.; 1982. *Red deer: behavior and ecology of two sexes*. University of Chicago press.
- Gaillard, J.M.; Delorme, D.; Boutin, J.M.; Van Laere, G.; Boisaubert, B.; Pradel, R.; 1993. Roe deer survival patterns: a comparative analysis of contrasting populations. *Journal of Animal Ecology*, 62, 778–791. <https://doi.org/10.2307/5396>
- Hoerling, M.; Eischeid, J.; Perlwitz, J.; Quan, X.; Zhang, T.; Pegion, P.; 2012. On the increased frequency of Mediterranean drought. *Journal of Climate*, 25(6), 2146–2161. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00296.1>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511546013>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Retrieved from <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Kawecki, T.J.; 2008. Adaptation to marginal habitats. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39, 321–342. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095622>
- Kjellander, P.; Hewison, A.J.M.; Liberg, O.; Angibault, J.M.; Bideau, E.; Cargnelutti, B.; 2004. Experimental evidence for density-dependence of home-range size in roe deer (*Capreolus capreolus* L.): a comparison of two long-term studies. *Oecologia*, 139(3), 478–485. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1529-z>

- Klein, G.; Vitasse, Y.; Rixen, C.; Marty, C.; Rebetez, M.; 2016. Shorter snow cover duration since 1970 in the Swiss Alps due to earlier snowmelt more than to later snow onset. *Climatic Change*, 139(3-4), 637–649. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1806-y>
- Menzel, A.; 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *International Journal of Biometeorology*, 44(2), 76–81. <https://doi.org/10.1007/s004840000054>
- Parmesan, C.; Yohe, G.; 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37–42. <https://doi.org/10.1038/nature01286>
- Peláez, M.; San Miguel, A.; Rodríguez-Vigal, C.; Perea, R.; 2017. Climate, female traits and population features as drivers of breeding timing in Mediterranean red deer populations. *Integrative Zoology*, 12(5), 396-408. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12252>
- Peláez, M.; Perea, R.; Díaz, M.; San Miguel, A.; Rodríguez-Vigal, C.; Côté, S.D.; 2018. Use of cast antlers to assess antler size variation in red deer populations: effects of mast seeding, climate and population features in Mediterranean environments. *Journal of Zoology*, 306(1), 8-15. <https://doi.org/10.1111/jzo.12563>
- Peláez, M.; Gaillard, J.M.; Bollmann, K.; Heurich, M.; Rehnus, M.; 2020. Large scale variation in birth timing and synchrony of a large herbivore along the latitudinal and altitudinal gradients. *Journal of Animal Ecology*, 89, 1906-1917. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13251>
- Peláez, M.; Sanuy, I.; Peral, J.C.; Esteban, J.L.Á.; Lavín, S.; Serrano, E.; Perea, R.; 2021. Early life investment in antlers and body growth reflects adult performance in roe deer population under supplementary feeding conditions. *Integrative Zoology*. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12535>
- Peñuelas, J.; Filella, I.; Comas, P.; 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology*, 8(6), 531–544. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00489.x>
- Rehnus, M.; Peláez, M.; Bollman, K.; 2020. Advancing plant phenology causes an increasing trophic mismatch in an income breeder across a wide elevational range. *Ecosphere*, 11(6), e03144. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3144>
- San Miguel, A.; Sanz, F.; Perez-Carral, C.; Roig, S.; 1996. Management of fodder resources for big game in the Toledo mountain range (Central Spain). *Pastos*, XXVI, 39–59.
- Stearns, S.C.; 1992. *The Evolution of Life Histories*. Oxford University Press
- Suttie, J.M.; Webster, J.R.; 1995. Extreme seasonal growth in arctic deer: comparisons and control mechanisms. *American Zoologist*, 35(3), 215–221. <https://doi.org/10.1093/icb/35.3.215>
- Trivers, R.L.; 1972. Parental investment and sexual selection. In: Campbell B. (ed.), *Sexual Selection and the Descent of Man*. Aldine Publishing Company, Chicago, pp. 136–179. <https://doi.org/10.4324/9781315129266-7>
- Vanpé, C.; Gaillard, J.M.; Kjellander, P.; Mysterud, A.; Magnien, P.; Delorme, D.; ... Mark Hewison, A.J.; 2007. Antler size provides an honest signal of male phenotypic quality in roe deer. *The American Naturalist*, 169(4), 481–493. <https://doi.org/10.1086/512046>
- Visser, M.E.; 2008. Keeping up with a warming world; assessing the rate of adaptation to climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1635), 649–659. <https://doi.org/10.1098/rspb.2007.0997>

Publicaciones derivadas de la Tesis Doctoral

- Peláez, M.; Sanuy, I.; Peral, J.C.; Esteban, J.L.Á.; Lavín, S.; Serrano, E.; Perea, R.; 2021. Early life investment in antlers and body growth reflects adult performance in roe deer population under supplementary feeding conditions. *Integrative Zoology*. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12535>
- Peláez, M.; Gaillard, J.M.; Bollmann, K.; Heurich, M.; Rehnus, M.; 2020. Large scale variation in birth timing and synchrony of a large herbivore along the latitudinal and altitudinal gradients. *Journal of Animal Ecology*, 89, 1906-1917. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13251>
- *Rehnus, M.; *Peláez, M.; Bollman, K.; 2020. Advancing plant phenology causes an increasing trophic mismatch in an income breeder across a wide elevational range. *Ecosphere*, 11(6), e03144. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3144> *equal first authors
- Peláez, M.; Perea, R.; Díaz, M.; San Miguel, A.; Rodríguez-Vigal, C.; Côté, S.D.; 2018. Use of cast antlers to assess antler size variation in red deer populations: effects of mast seeding, climate and population features in Mediterranean environments. *Journal of Zoology*, 306(1), 8-15. <https://doi.org/10.1111/jzo.12563>
- Peláez, M.; San Miguel, A.; Rodríguez-Vigal, C.; Perea, R.; 2017. Climate, female traits and population features as drivers of breeding timing in Mediterranean red deer populations. *Integrative Zoology*, 12(5), 396-408. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12252>