

La floración del almendro *Prunus dulcis* se adelanta en el centro peninsular durante el periodo 1981-2024

Natalia R. CANO-BARBACIL¹, Carlos CANO-BARBACIL², Javier CANO SÁNCHEZ³

¹ Universidad Autónoma de Madrid

² Senckenberg Research Institute and Natural History Museum, Frankfurt
Department of River Ecology and Conservation, Gelnhausen, Germany

³ Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Delegación Territorial en Madrid.
jcanos@aemet.es

Resumen: En las últimas décadas se ha observado una tendencia general al adelanto de la fenología primaveral en muchas especies como consecuencia del cambio climático. A partir de los datos de las fechas de floración del almendro obtenidos entre 1981 y 2024, en el centro de la península ibérica, se analizan las variaciones en la floración de esta especie de árbol. Como resultado, en los últimos cuarenta y cuatro años se ha apreciado un adelantamiento significativo en la floración en el área de estudio. El almendro debe ser considerado como un buen bioindicador del cambio climático, ya que es una especie fácil de identificar, es muy común en la zona mediterránea y existen abundantes datos históricos relativos a su fenología. El cambio climático podría continuar provocando alteraciones, no solo en su fenología, sino también en su distribución y en la producción de almendras.

Palabras clave: árboles frutales; cambio climático; fenología; floración; series temporales.

1. INTRODUCCIÓN

La fenología de las especies está íntimamente ligada a los cambios en las condiciones climáticas. En las últimas décadas se ha observado una tendencia general al adelanto de la fenología primaveral en muchas especies como consecuencia del cambio climático antropogénico y el incremento de las temperaturas (PARMESAN y YOHE, 2003). Por ejemplo, es sabido que algunas especies de aves migratorias han adelantado su llegada a los territorios de reproducción (CANO-BARBACIL y CANO, 2021). Del mismo modo, la floración o producción de frutos de algunas especies de plantas se ha anticipado en las últimas décadas (PIAO *et al.*, 2019). Así ha ocurrido en Japón con la fecha de floración de los albaricoques *Prunus mume*, que se ha adelantado durante las últimas seis décadas (DOI, 2007). Del mismo modo, DORJI y colaboradores (2020) encontraron que un aumento de las temperaturas puede provocar el adelantamiento de la floración de diferentes especies de plantas alpinas y afectar negativamente a su producción de flores y frutos.

El almendro (*Prunus dulcis* (Mill.), D. A. Webb, 1967) es un pequeño árbol caducifolio (figura 1a), de entre 5 a 10 metros de altura, perteneciente a la familia de las rosáceas, que incluye la mayor parte de árboles frutales como el cerezo, el ciruelo, el manzano, el melocotonero, el membrillo o el peral (SANTOLALLA, 1992). El almendro es propio de climas templado-cálidos y secos, siendo los más idóneos para su desarrollo en la región mediterránea, de acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger, el Csa y el BSk, que se corresponden con los climas templado con veranos secos y cálidos, y semiárido y templado con invierno frío (KÖPPEN, 1948), respectivamente.

Esta especie, originaria del suroeste de Asia, fue ampliamente distribuida por Europa, sobre todo por los romanos a partir de su llegada a la península ibérica en el siglo III a. C. (RUIZ DE LA TORRE, 1977). El cultivo del almendro es importante en la región mediterránea por sus semillas comestibles, que se consumen en nuestra dieta de diversas formas, y porque su aceite se utiliza en perfumería y en la industria farmacéutica. En los últimos años su cultivo se ha incrementado un 4,6 % en España, ocupando más de 700 000 hectáreas de superficie (MINISTERIO DE

AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 2022). En las temporadas más productivas, como la campaña 2020/21, se llegaron a recolectar 420 892 toneladas; mientras que en la temporada 2022/23 se recogieron apenas 246 597 debido, entre otros factores, a las heladas tardías.



Figura 1. a) Ejemplar de almendro en plena floración en la localidad madrileña de Colmenar de Oreja. b) Detalle de las flores de almendro. Su polinización es entomófila, es decir, requiere la intervención de insectos para transportar el polen de flor en flor. La realizan sobre todo insectos pertenecientes al género de los himenópteros, como abejas melíferas y abejorros. Fotografías: Javier Cano.

Sus flores, con cinco pétalos de color rosáceo o blanco (figura 1b), dependiendo de las variedades, aparecen en pleno invierno (entre los meses de enero y febrero) y antes de que broten las hojas. En algunas localidades de la cuenca mediterránea se observan de forma más temprana en el mes de enero, como por ejemplo en las islas Baleares y zonas de la costa de la Comunidad Valenciana, Región de Murcia y Andalucía (ROMERO *et al.*, 2022). El objetivo principal de este trabajo es evaluar los cambios en la fecha de la floración del almendro en el centro de la península ibérica y si dichos cambios tienen relación con el aumento de las temperaturas observado en las últimas décadas.

2. MÉTODOS

Área de estudio y registro de la floración

La información fenológica de la floración del almendro utilizada en este estudio se corresponde con las observaciones realizadas en las localidades de Madrid, Getafe y Valdemoro entre los años 1981 y 2024. Dichas observaciones consisten en registrar la fecha en la que se observan las primeras flores del almendro a finales del invierno. De acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger más reciente (CHAZARRA BERNABÉ *et al.*, 2023), esta región ha evolucionado de un clima templado con veranos secos y cálidos (Csa) a otro semiárido y templado con invierno frío (BSk) (figura 2). Para el periodo comprendido entre 1991 y 2020, la temperatura media anual fue de 15,5 °C y la precipitación anual acumulada fue de 354,8 mm (datos de Getafe).

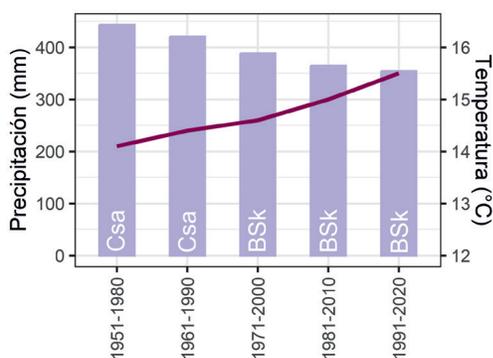


Figura 2. Evolución de la temperatura media anual (línea continua) y de las precipitaciones (barras) en Getafe (Comunidad de Madrid) durante los últimos 70 años. Datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Datos climáticos

Se han obtenido cuatro variables climáticas de los meses de invierno, pertenecientes a la estación meteorológica de Getafe: temperatura media (°C), precipitación acumulada (mm), horas de sol (h) y número de días con helada. El invierno se ha definido como el periodo comprendido entre los meses de diciembre y febrero. La información se ha obtenido del Servicio de Banco Nacional de Datos Climatológicos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Análisis estadísticos

En primer lugar, se ha hecho una caracterización fenológica de la floración del almendro siguiendo las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2017 y 2018). Para ello se ha calculado la mediana del periodo de referencia 1981-2010, así como los percentiles del 20, 40, 60 y 80 % (quintiles). De este modo, la floración se considera muy temprana si el valor está en el primer quintil, temprana cuando está en el segundo, normal si se encuentra en el tercero, tardía cuando está en el cuarto y muy tardía si está en el quinto. Seguidamente, se empleó un modelo aditivo generalizado (GAM) para evaluar los cambios no lineales que se han producido en la serie histórica de floración del almendro durante el periodo 1981-2024. Finalmente se correlacionó la fecha de la primera floración con las cuatro variables climáticas recopiladas (temperatura media, precipitación acumulada, horas de sol y número de días con helada durante el invierno) mediante el coeficiente de correlación de Spearman.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La floración del almendro se produce normalmente entre el 7 y el 12 de febrero (medianas que corresponden a los periodos 1991-2020 y 1981-2010, respectivamente), es decir, se inicia habitualmente entre la primera y segunda decena de febrero, aunque también se ha producido alguna floración muy temprana en la primera decena de enero, y floraciones tardías en la tercera decena de febrero (figura 3).

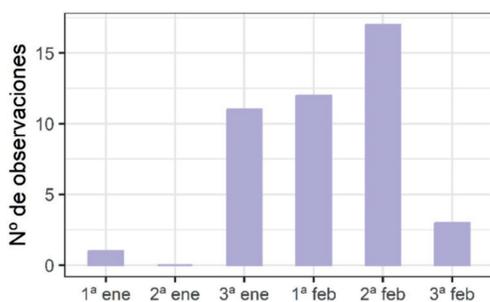


Figura 3. Distribución temporal de la fecha de floración (periodo 1981-2024). Se observa que la floración se produce con mayor frecuencia entre la primera y la segunda decena del mes de febrero.

Si tomamos como periodo de referencia el comprendido entre 1981 y 2010, desde entonces se han producido dos floraciones tardías, cuatro normales, una temprana y siete muy tempranas.

En concordancia con estos resultados, el modelo GAM indica que la floración del almendro en el centro peninsular se está adelantando en las últimas décadas de manera significativa ($R^2_{adj} = 28,8 \%$; $P = 0,007$; figura 4). Sin embargo, el adelantamiento en la fecha de la floración no sigue una tendencia lineal, siendo este mucho más marcado durante los periodos comprendidos entre 1981 y 1995, así como entre 2010 y 2024.

La fecha más temprana de floración se produjo, no obstante, el 8 de enero de 1993, que se caracterizó como extremadamente temprana. Este inusual adelantamiento en la fecha de floración pudo deberse a que el comienzo del invierno, en diciembre de 1992, estuvo marcado por precipitaciones normales y temperaturas cálidas en la zona de estudio (INM, 1994).

A lo largo del periodo de estudio se ha observado que la floración suele ser más temprana en almendros que se encuentran al abrigo, en parques urbanos o en las cercanías de grandes ciudades como consecuencia del efecto de «isla de calor». Por el contrario, la floración es más tardía en individuos que están en un entorno rural, a la intemperie y expuestos a vientos fríos y secos, que retrasan la apertura de las flores. Aunque no se ha estudiado en este trabajo, también se sabe que, dependiendo de la variedad, hay almendros que florecen más temprano que otros, con hasta una o dos semanas de diferencia (AEMET, 2023).

A pesar de que tanto la temperatura media del invierno ($r_s = 0,504$; $P < 0,001$) como las horas de sol ($r_s = 0,419$; $P = 0,005$) se han incrementado significativamente en las últimas décadas, las únicas variables climáticas que mostraron una correlación significativa con la fecha de la primera floración fueron la temperatura media del invierno ($r_s = -0,655$; $P < 0,001$) y el número de días con heladas ($r_s = 0,567$; $P < 0,001$; figura 5). De este modo, el almendro adelanta la floración en los años cuyas temperaturas en invierno son más suaves, y se retrasa aquellos años en los que se registra un mayor número de heladas durante esa estación del año. Por el contrario, las precipitaciones y las horas de sol acumuladas durante el invierno no parecen tener una influencia significativa sobre la fecha de las primeras flores de los almendros.

Otro aspecto a destacar es que en algunos trabajos previos han supuesto que un aumento de la temperatura y una reducción en la frecuencia de heladas pueden, al contrario de lo observado en este estudio, retrasar la floración y fructificación del almendro, pues la mayoría de árboles frutales necesitan un cierto número mínimo de horas acumuladas de frío durante el invierno para el adecuado desarrollo de sus flores y frutos (EL YAACOUBI *et al.*, 2019). En el caso concreto de los almendros, estos pueden necesitar entre 200 y 1000 horas de frío, dependiendo de la variedad, para producir almendras de calidad. Por lo tanto, un incremento excesivo de las temperaturas durante los meses de invierno podría provocar el efecto contrario al observado en este trabajo y afectar directamente a la producción de almendras.

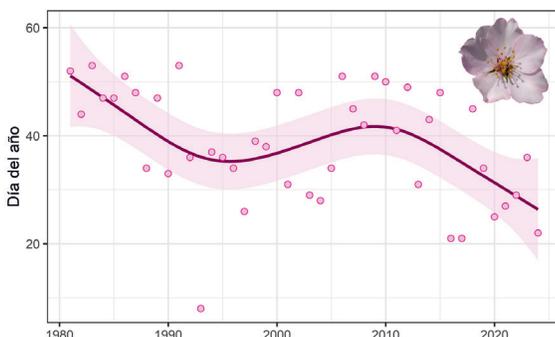


Figura 4. Serie histórica de la floración del almendro en el área de estudio, el centro-sur de la Comunidad de Madrid. La línea continua muestra la proyección del modelo aditivo generalizado (GAM), mientras que la región sombreada se corresponde con el intervalo de confianza de 95 %.

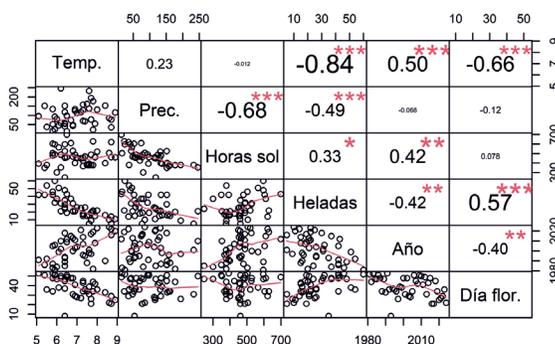


Figura 5. Matriz de correlación que ilustra las relaciones entre la primera fecha de floración del almendro en el centro-sur de la Comunidad de Madrid y cuatro variables climáticas durante el invierno: temperatura media ($^{\circ}\text{C}$), precipitación acumulada (mm), horas de sol (h) y número de días con helada; así como su evolución a lo largo del tiempo.

4. CONCLUSIONES

El almendro, igual que otras especies del mismo género como *Prunus spinosa*, es un buen bioindicador del cambio climático, por ser una especie fácil de identificar y muy común en la zona mediterránea, por poseer una llamativa floración y porque existen abundantes datos históricos relativos a la fenología de la especie en diferentes regiones (MARTÍNEZ NÚÑEZ *et al.*, 2018). Sin ir más lejos, la AEMET dispone de series temporales con un mínimo de 10 años de duración en 17 localidades españolas.

Los resultados de este estudio indican que la fecha de la primera floración del almendro se está adelantando de forma significativa en localidades del centro peninsular, en concordancia con publicaciones anteriores, en las que también se ha observado un adelantamiento en la floración de otras especies vegetales (DOI, 2007, DORJI *et al.*, 2020). Un incremento de las temperaturas y una reducción de precipitaciones en las próximas décadas podrían causar otros efectos negativos sobre las poblaciones de almendros del centro y sur peninsular como la reducción de su área de distribución o una disminución en la producción de almendras, lo cual puede derivar en importantes pérdidas económicas (CISCAR *et al.*, 2011, FREITAS *et al.*, 2023).

A pesar de los numerosos trabajos que indican cambios en la fenología de diferentes especies vegetales como consecuencia del cambio climático, el conocimiento de los mecanismos subyacentes que inducen estas alteraciones es todavía limitado (PIAO *et al.*, 2019). Por lo tanto, se sugiere que los estudios futuros deben centrarse en el uso de nuevas herramientas de observación para mejorar la comprensión de los cambios fenológicos, así como el avance de los modelos utilizados y la incorporación de nuevas variables para entender estos procesos.

BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET), 2023. Informe meteorofenológico de la primavera de 2023. https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/fenologia/feno_primavera_2023.pdf.
- CANO-BARBACIL, C., y CANO, J., 2021. Fenología migratoria a largo plazo de cuatro especies transaharianas en la Comunidad de Madrid. En: *Anuario Ornitológico de Madrid 2019-2020*, pp. 44-57. Madrid.
- CHAZARRA BERNABÉ, A., LORENZO MARINO, B., ROMERO FRESNEDA, R. y MORENO GARCÍA, J. V. M. G., 2023. Observed changes of Köppen climate zones in Spain since 1951. *Espacio Tiempo y Forma. Serie VI, Geografía*, 16, 133-144.
- CISCAR, J. C., IGLESIAS, A., FEYEN, L., SZABÓ, L., VAN REGEMORTER, D., AMELUNG, B., ... y SORIA, A., 2011. Physical and economic consequences of climate change in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 2678-2683.
- DOI, H., 2007. Winter flowering phenology of Japanese apricot *Prunus mume* reflects climate change across Japan. *Climate Research*, 34(2), 99-104.
- DORJI, T., HOPPING, K. A., MENG, F., WANG, S., JIANG, L. y KLEIN, J. A., 2020. Impacts of climate change on flowering phenology and production in alpine plants: the importance of end of flowering. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 291, 106795.
- EL YAACOUBI, A., OUKABLI, A., LEGAVE, J. M., AINANE, T., MOUHAJIR, A., ZOUHAIR, R. y HAFIDI, M., 2019. Response of almond flowering and dormancy to Mediterranean temperature conditions in the context of adaptation to climate variations. *Scientia horticultrae*, 257, 108687.
- FREITAS, T. R., SANTOS, J. A., SILVA, A. P. y FRAGA, H., 2023. Reviewing the adverse climate change impacts and adaptation measures on almond trees (*Prunus dulcis*). *Agriculture*, 13(7), 1423.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA (INM), 1994. *Calendario meteorológico 1994*. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente. Madrid.
- KÖPPEN, W., 1948. *Climatología*. Fondo de Cultura Económica. México.
- MARTÍNEZ NÚÑEZ, L., CARA GARCÍA, J. A. D., CANO SÁNCHEZ, J., GALLEGU ABAROA, T., ROMERO FRESNEDA, R. y BOTTEY, M. R., 2018. Selección de especies de interés fenológico en la península ibérica e islas Baleares. AEMET. Madrid.

- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 2022. Análisis de la campaña de frutos secos 2021/22. Dirección general de producciones y mercados agrarios. Subdirección general de frutas y hortalizas y viticultura.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM), 2017. Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas. OMM-Nº 1203. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra.
- , 2018. Guía de prácticas climatológicas. OMM-Nº 100. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra.
- PARMESAN, C. y YOHE, G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37-42.
- PIAO, S., LIU, Q., CHEN, A., JANSSENS, I. A., FU, Y., DAI, J., ... y ZHU, X., 2019. Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global change biology*, 25(6), 1922-1940.
- ROMERO, R., DE CARA, J. A., MORENO, J. V. y GALLEGU, T., 2022. Agrometeorología y fenología. En: *Calendario meteorológico 2023*, pp. 151-187. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid.
- RUIZ DE LA TORRE, J., 1977. Árboles y arbustos de España. Salvat editores. Barcelona.
- SANTOLALLA, F., 1992. Guía de los árboles de la península ibérica y Baleares. Blume. Barcelona.