



**Universidad**  
Zaragoza

# TRABAJO FIN DE MÁSTER

## MÁSTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

*Estudio climatológico de Cuencas de la Península Ibérica  
para predicción de cultivos leñosos en un contexto de  
cambio climático*

*Climatological study of basins of the Iberian Peninsula for  
the prediction of woody crops in a context of climate  
change*

Autora:  
**Alba García Sáez**

Directora:  
María José Rubio Cabetas

Tutora:  
Clara Martí Dalmau

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA  
2022/2023

## ÍNDICE DEL TRABAJO

1. Introducción .....	1
2. Objetivos .....	4
3. Materiales y métodos .....	5
3.1 Área de estudio .....	5
3.2 Material vegetal .....	7
3.3 Estudio fenológico y calendario de floración de variedades de almendro en la Cuenca del Ebro .....	8
3.4 Estudio climático .....	10
3.5 Cálculo de las necesidades térmicas del almendro .....	10
3.5.1 Modelos de estimación de frío acumulado .....	10
3.5.1.1 Cálculo del número de horas frío .....	11
3.5.2 Predicción del número de horas de calor .....	12
3.6 Temperaturas estivales .....	13
3.7 Análisis estadístico .....	13
4. Resultados y discusión .....	14
4.1 Horas frío, régimen de heladas y temperaturas máximas estivales en las diferentes cuencas .....	14
4.2 Necesidades de calor de las variedades de estudio en las cuencas seleccionadas .....	28
4.3 Evaluación de las condiciones de frío y calor para la floración del almendro .....	35
4.4 Altas temperaturas estivales .....	36
4.5 Influencia de los patrones en la fenología de las variedades de almendro .....	37
4.6 Comportamiento de las variedades de almendro estudiadas en función de los patrones y de las condiciones climáticas en las Cuencas hidrográficas de estudio.....	41
5. Conclusiones .....	60
6. Bibliografía .....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

1. Localización de las estaciones meteorológicas en las cuatro Cuencas hidrográficas estudiadas .....	6
2. Situación y coordenadas de la Finca “El Vedado bajo del Horno” en la provincia de Zaragoza .....	9
3. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Zuera (Zaragoza).....	16
4. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Córdoba (Córdoba).....	18
5. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Guadalupe (Cáceres).....	21
6. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Aldearrubia (Salamanca).....	24
7. Acumulación de horas frío en las Cuencas hidrográficas estudiadas.....	26
8. Diagrama de cajas del número de horas frío por Cuenca hidrográfica representando las mínimas, medias, máximas y valores atípicos. Letras diferentes indican diferencias significativas en el valor medio de este parámetro según la localidad ( $p < 0,05$ ).....	26
9. Diagrama de cajas del número de horas frío por Cuenca hidrográfica representando las mínimas, medias, máximas y valores atípicos. Letras diferentes indican diferencias significativas en el valor medio de este parámetro según la localidad ( $p < 0,05$ ).....	27
10. Diferencia entre el valor medio de HF de 2019/2020 respecto a la media de la serie en las Cuencas hidrográficas estudiadas.....	27
11. Necesidades de calor de las variedades de almendro estudiadas.....	33
12. Diferencia entre el valor medio de GDD de 2019/2020 respecto a la media de la serie en las Cuencas hidrográficas estudiadas.....	34
13. Acumulación de frío (HF) y de calor (GDD) a lo largo del ciclo anual del almendro en las Cuencas hidrográficas estudiadas.....	35
14. Diagrama de cajas del número de días con temperaturas superiores a 36°C por Cuenca hidrográfica representando las mínimas, medias, máximas y valores atípicos. Letras diferentes indican diferencias significativas en el valor medio de este parámetro según la localidad ( $p < 0,05$ ).....	36
15. Número de días con $T^a > 36^{\circ}\text{C}$ en las Cuencas hidrográficas de estudio.....	37
16. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad ‘D.Largueta’.....	38
17. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad ‘Guara’.....	38
18. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad Soleta®.....	39
19. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad Isabelona®.....	39

20. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad Felama®	40
21. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad Vialfas®	40
22. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad Diamar®	41
23. Comportamiento fenológico de la variedad ‘D.Largueta’ y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración	43
24. Comportamiento fenológico de la variedad ‘Guara’ y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración	43
25. Comportamiento fenológico de la variedad Soleta® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración	44
26. Comportamiento fenológico de la variedad Isabelona® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración	44
27. Comportamiento fenológico de la variedad Felama® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración	45
28. Comportamiento fenológico de la variedad Vialfas® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración	45
29. Comportamiento fenológico de la variedad Diamar® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración	46
30. Comportamiento fenológico de la variedad ‘D.Largueta’ y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración	47
31. Comportamiento fenológico de la variedad ‘Guara’ y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración	48
32. Comportamiento fenológico de la variedad Soleta® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración	48
33. Comportamiento fenológico de la variedad Isabelona® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración	49
34. Comportamiento fenológico de la variedad Felama® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración	49
35. Comportamiento fenológico de la variedad Vialfas® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración	50
36. Comportamiento fenológico de la variedad Diamar® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración	50
37. Comportamiento fenológico de la variedad ‘D.Largueta’ y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Tajo durante el periodo de floración	52
38. Comportamiento fenológico de la variedad ‘Guara’ y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Tajo durante el periodo de floración	52
39. Comportamiento fenológico de la variedad Soleta® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Tajo durante el periodo de floración	53

40. Comportamiento fenológico de la variedad Isabelona® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Tajo durante el periodo de floración.....	53
41. Comportamiento fenológico de la variedad Felama® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Tajo durante el periodo de floración.....	54
42. Comportamiento fenológico de la variedad Vialfas® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Tajo durante el periodo de floración.....	54
43. Comportamiento fenológico de la variedad Diamar® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Tajo durante el periodo de floración.....	55
44. Comportamiento fenológico de la variedad ‘D.Largueta’ y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.....	56
45. Comportamiento fenológico de la variedad ‘Guara’ y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.....	57
46. Comportamiento fenológico de la variedad Soleta® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.....	57
47. Comportamiento fenológico de la variedad Isabelona® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.....	58
48. Comportamiento fenológico de la variedad Felama® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.....	58
49. Comportamiento fenológico de la variedad Vialfas® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.....	59
50. Comportamiento fenológico de la variedad Diamar® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

1. Características de las variedades de estudio .....	8
2. Características de los patrones de estudio .....	8
3. Datos para la correlación de Weimberger .....	12
4. Temperaturas promedio en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Zuera.....	14
5. Temperaturas estivales en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Zuera.....	15
6. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Zuera.....	15
7. Temperaturas < 0° en Zuera .....	16
8. Temperaturas promedio en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Córdoba.....	17
9. Temperaturas medias de las máximas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Córdoba.....	17
10. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Córdoba.....	18
11. Temperaturas < 0° en Córdoba.....	19
12. Temperaturas promedio en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Guadalupe.....	20
13. Altas temperaturas estivales en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Guadalupe.....	20
14. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Guadalupe.....	21
15. Temperaturas < 0° en Guadalupe.....	22
16. Temperaturas promedio en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Aldearrubia.....	23
17. Bajas temperaturas estivales en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Aldearrubia.....	23
18. Altas temperaturas estivales en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Aldearrubia.....	23
19. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Aldearrubia.....	24
20. Temperaturas < 0° en Aldearrubia.....	25
21. Fechas de seguimiento para la floración.....	28
22. Necesidades de calor de la variedad ‘D.Largueta’.....	29
23. Necesidades de calor de la variedad ‘Guara’.....	29
24. Necesidades de calor de la variedad Soleta®.....	29
25. Necesidades de calor de la variedad Isabelona®.....	30
26. Necesidades de calor de la variedad Felama®.....	30

27. Necesidades de calor de la variedad Vialfas® .....	30
28. Necesidades de calor de la variedad Diamar® .....	31
29. Necesidades de calor de la variedad ‘D.Largueta’ .....	31
30. Necesidades de calor de la variedad ‘Guara’ .....	31
31. Necesidades de calor de la variedad Soleta® .....	32
32. Necesidades de calor de la variedad Isabelona® .....	32
33. Necesidades de calor de la variedad Felama® .....	32
34. Necesidades de calor de la variedad Vialfas® .....	33
35. Necesidades de calor de la variedad Diamar® .....	33

## **ÍNDICE DE LOS ANEJOS DEL TRABAJO**

Anejo 1: Estudio climático

Anejo 2: Seguimiento de los estados fenológicos

## **RESUMEN**

El presente Trabajo de Fin de Máster plantea el estudio climatológico de 4 Cuencas hidrográficas de la Península Ibérica, especialmente en el análisis de los datos de temperatura que permiten calcular el número de horas frío, uno de los parámetros más importantes a considerar en la producción de frutales de clima templado, y en este caso del almendro.

El estudio planteado analiza las variaciones climáticas existentes en las 4 Cuencas hidrográficas seleccionadas, en dos años consecutivos en cuanto a la acumulación de horas frío, y sus consecuencias en el cultivo de variedades de almendro de floración temprana, tardía y extra-tardía, puesto que el conocimiento de las integrales térmicas y de las exigencias medioambientales de este cultivo han determinado las regiones geográficas en las que es posible su cultivo y puede resultar rentable. Los resultados de los requisitos de frío para romper la latencia fueron de 1650 horas frío (HF) para el modelo de Weimberger y 1440 horas frío (HF) para el modelo de Mota, respectivamente. En principio, las variedades estudiadas no tienen ninguna limitación en cuanto a horas frío para ser cultivadas en las 4 Cuencas hidrográficas de estudio, ya que en todas ellas se obtienen valores muy superiores a las necesidades de frío que requiere este cultivo.

La recomendación final del material varietal que mejor se adapte a cada zona de estudio depende también de las necesidades de calor de las variedades y de otros factores climáticos, en especial las heladas primaverales y los días con temperaturas superiores a 36°C.

## **ABSTRACT**

This Master's Thesis proposes the climatological study of 4 hydrographic basins of the Iberian Peninsula, especially in the analysis of temperature data that allow calculating the number of chilling hours, one of the most important parameters to consider in the production of temperate fruit trees, and in this case of the almond tree.

The proposed study analyzes the climatic variations existing in the 4 selected hydrographic basins, in two consecutive years in terms of the accumulation of chilling hours, and their consequences on the cultivation of early, late and extra-late flowering almond tree varieties, since the knowledge of the thermal integrals and environmental requirements of this crop have determined the geographical regions in which it is possible this crop and can be profitable. The results for dormancy-breaking chilling requirements were 1650 chilling hours (HF) for the Weimberger model and 1440 chilling hours (HF) for the Mota model, respectively. In principle, the varieties studied do not have any limitation in terms of chilling hours to be grown in the 4 hydrographic basins of study, since in all of them values well above the chilling needs required by this crop are obtained.

The final recommendation of the varietal material best suited to each study area also depends on the heat requirements of the varieties and other climatic factors, especially spring frosts and days with temperatures over 36°C.

## 1. INTRODUCCIÓN

El almendro *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb es un árbol de la familia de las Rosáceas que se adapta bien a climas de inviernos suaves y veranos cálidos y secos, por esta razón, tiene una alta tasa de rendimiento en zonas con clima mediterráneo debido a sus bajas necesidades de frío, rápida entrada en vegetación y alta tolerancia a las horas de calor y a la sequía (Felipe *et al.*, 2017). Sin embargo, aunque se adapta a la escasa disponibilidad de agua, en estas circunstancias, se reduce considerablemente el crecimiento y la cantidad y la calidad de la cosecha.

El almendro, es un cultivo que necesita un régimen de lluvias que no afecte a la polinización (finales de invierno a primavera), y que no sean muy frecuentes entre verano hasta la recolección de frutos (verano-otoño), ya que el ambiente húmedo favorece el desarrollo de enfermedades (Felipe *et al.*, 2017).

Como consecuencia de esta adaptación y puesto que es un árbol con una alta capacidad productiva y rentable, el almendro se ha extendido a diferentes zonas de cultivo, desde las antiguas plantaciones en secano hasta las recientes plantaciones en regadío más modernas y eficientes, obteniendo cosechas considerables, logrando satisfacer el aumento de la demanda global y abriendo nuevos mercados de la almendra.

Antiguamente, debido a su rusticidad, el almendro era cultivado en zonas templadas marginales sin ningún manejo agronómico, puesto que no se le buscaba rentabilidad a su producción. La aparición de plantaciones bien manejadas y con técnicas de cultivo adecuadas, puso de manifiesto su gran potencial productivo y se ha demostrado que el almendro puede ser un cultivo competitivo cuando se dan las condiciones favorables que necesita y se maneja correctamente (Felipe *et al.*, 2017).

De la misma manera que sucede con otros cultivos leñosos de zonas templadas, el almendro presenta un periodo de latencia durante el invierno provocado por el descenso de la temperatura, la reducción del fotoperiodo (el acortamiento del día) y la disminución de la intensidad lumínica. Según Felipe *et al.* (2017), el reposo invernal es el tiempo que transcurre desde la caída de las hojas y parada vegetativa otoñal, hasta el desborre y floración o iniciación de la actividad vegetativa a finales de invierno o principios de primavera. A lo largo de esta etapa, los árboles permanecen visualmente inactivos; se encuentran desprovistos de hojas, los ramos no crecen y las actividades de la planta en su conjunto están aparentemente paralizadas. Sin embargo, la actividad biológica prosigue preparando la próxima floración y entrada en vegetación y algunos procesos, entre los que se pueden citar la actividad radicular, la respiración, transpiración, o el transporte vascular, permanecen activos (Fadón *et al.*, 2018ab). Durante este periodo de tiempo, el árbol debe cubrir unas necesidades térmicas que se han denominado como número de horas frío (HF), es decir, la exigencia invernal, que permitirá romper la endolatenia. Al finalizar esta fase, comienza la ecolatenia, en la que el desarrollo de las yemas depende especialmente de la

acumulación de calor (Alonso *et al.*, 2005) considerándose su final como la apertura del 50% de las flores (Tabuenca *et al.*, 1972).

La fecha en la que se produce la floración también depende de la variedad, modificando su duración según la climatología; así, se ha observado que con temperaturas altas y días soleados este periodo se acorta, mientras que con temperaturas bajas y días nublados se alarga (Felipe *et al.*, 2017). Por tanto, para que el almendro florezca se deben cumplir una serie de requisitos en la acumulación de horas frío y horas de calor que necesita el cultivo, siendo tradicionalmente considerado como la especie frutal con la floración más temprana. Por ello, resulta imprescindible la vigilancia de los diferentes eventos climáticos que se pueden dar a lo largo del ciclo del almendro, por los efectos que producen los cambios de temperatura sobre la fenología de los árboles. De modo que dichos sucesos climatológicos, englobando aquí todo cambio de temperatura que adelante o retrase la etapa de floración, como las heladas o el granizo, así como las condiciones para la aparición de plagas y enfermedades, son motivos por los que la climatología es un factor determinante a la hora de estudiar el cultivo del almendro, puesto que esta característica delimitó su cultivo a regiones con bajo riesgo de heladas primaverales ya que pueden producir la disminución o pérdida de la cosecha (Felipe *et al.*, 2017; Kester *et al.*, 1990). La temperatura base de este cultivo son los 4,5°C, temperatura a partir de la cual el crecimiento se detiene. Además, cuando el almendro ha comenzado su actividad vegetativa, temperaturas ligeramente inferiores a 0°C causan daños importantes en los brotes, provocando la muerte de yemas y hojas jóvenes. En floración, temperaturas próximas a 0°C influyen negativamente en el desarrollo de los órganos florales, provocando una mala polinización. En frutos jóvenes pueden causar daños importantes (Alonso *et al.*, 2010; Sakar *et al.*, 2023).

En cuanto a las bajas temperaturas invernales, el almendro ha demostrado que puede soportar temperaturas de hasta -25°C con pocos daños si estas ocurren cuando el árbol se encuentra en pleno reposo (Felipe *et al.*, 2017).

En algunas zonas, la precocidad de la floración y la maduración les permite escapar de las fuertes sequías durante el desarrollo del fruto, característica ventajosa exclusivamente en zonas donde no se dan heladas tardías (Felipe *et al.*, 2017). Así, la mayoría de los programas de mejora del almendro persiguen la obtención de cultivares de floración más tardía para evitar los daños producidos por las heladas, floreciendo cuando las temperaturas son superiores y más favorables para los procesos de polinización y fecundación (Kester y Asay, 1975).

La frecuencia de heladas afecta especialmente en las zonas de interior con clima continental, llegando, en muchos casos, a anular la cosecha. En zonas costeras, también pueden darse heladas en el momento de la floración o inmediatamente después, aunque son menos frecuentes igualmente pueden llegar a afectar seriamente la cosecha (Felipe *et al.*, 2017).

El conocimiento de estas fechas tiene una gran importancia para evitar daños en la producción, ya que es conveniente que las últimas heladas primaverales ocurran con anterioridad a la floración, por lo que una forma de disminuir el riesgo de daños por este tipo de heladas es la plantación de variedades de floración tardía y extra-tardía.

Se debe tener especial cuidado con las heladas primaverales ya que las yemas de flor son las más frecuentemente afectadas por estas bajas temperaturas, perjudicando también al ovario, los óvulos y la base del estilo en las flores que pueden llegar a congelarse y morir. Por otro lado, es muy difícil que las heladas primaverales lleguen a afectar a la madera; si llega a darse el caso, las flores, frutos y brotes estarían muertos (Felipe *et al.*, 2017).

Las heladas suponen un factor de riesgo durante los primeros años de la plantación, ya que las plantas jóvenes carecen de sistema leñoso bien formado que las proteja y, no tienen la misma cantidad de reservas que en su estado adulto (Felipe *et al.*, 2017).

Las temperaturas elevadas, también afectan a la producción del almendro. Estos valores suelen registrarse en la época estival que es el periodo más caluroso del año y normalmente, en casi todo el territorio español, tiene una duración de unos tres meses, aproximadamente desde mediados de junio hasta principios de septiembre. Cuando los registros térmicos superan el rango de los 30-35°C en ambientes secos y con alta insolación, el almendro puede resultar afectado en su actividad fotosintética; se produce la denominada parada vegetativa estival. Cuando las temperaturas son muy desfavorables, por encima de los 40 °C, pueden ocasionar el asurado de hojas y brotes y pueden provocar la deshidratación, necrosis y caída de hojas, daños en el fruto y quemaduras de la madera (Dennis, 2003). Además, las temperaturas superiores al punto de compensación lumínico provocan que la planta utilice sus reservas (fotorrespiración oxidativa) y puede producirse una marchitez temporal si se incrementa la transpiración y hay escasez de agua disponible (Dennis, 2003).

Existen algunos mecanismos de adaptación que posibilitan controlar el estrés por temperaturas extremas. En las zonas húmedas se ha observado el aumento de la superficie foliar, alta tasa de transpiración, alta densidad y actividad de los estomas, elevada velocidad de la circulación de la sabia bruta. En las zonas secas, se produce un crecimiento radicular en profundidad, almacenamiento de agua en órganos, reducción de la superficie foliar y de la permeabilidad de las capas epidérmicas, por lo tanto, de la actividad respiratoria y de la transpiración.

Es poco frecuente y prácticamente imposible que se den bajas temperaturas durante la época estival, pero su aparición podría causar riesgos para el rendimiento. La consecuencia más grave suele ser la disminución de tamaño de los frutos, a lo que puede sumarse el retraso en las fechas de maduración y un menor desarrollo vegetativo (Dennis, 2003).

Así mismo, en las plantaciones de regadío, el factor limitante es la insolación. La insolación se define como la cantidad de energía que llega al frutal en forma de radiación solar en un determinado periodo de tiempo. La radiación solar total recibida por una planta depende de la

superficie foliar expuesta, pero el uso de esta radiación depende de la eficiencia fotosintética de la planta para utilizarla, así como del índice de cobertura del suelo (función de la densidad de la plantación y de la conformación y disposición espacial en frutales) y de la relación entre la superficie y el volumen de frutales (Dennis, 2003). La radiación extraterrestre que se recibe del sol varía a lo largo del año, siendo los principales motivos la latitud y la declinación.

Finalmente, la radiación que percibe el almendro también está determinada por factores físicos que crea el propio cultivo, produciéndose un gradiente de disponibilidad energética entre las diferentes áreas de la planta. Esto provoca que la radiación interceptada por la zona exterior e interior del árbol sea diferente, llegando una menor cantidad de radiación al interior de la plantación o del árbol. La radiación fotosintéticamente activa es el 45% de la radiación solar por lo que es necesario realizar una poda adecuada para favorecer la entrada de luz entre los almendros (Rohde y Bhalerao, 2007).

Uno de los principales efectos del cambio climático sobre la fisiología del almendro y, por tanto, sobre su producción, está relacionado con la sequía y el régimen de heladas, puesto que una de las mayores preocupaciones para los agricultores es la aparición de heladas tardías que puedan llegar a anular completamente la cosecha.

Teniendo en cuenta esta información, los continuos cambios que están apareciendo a nivel climático están poniendo a prueba la versatilidad del almendro para adaptarse a las condiciones de los próximos años, por lo que un estudio exhaustivo de la climatología de la zona es fundamental para la elección de la variedad y del patrón.

Así, al tratarse de un cultivo cada vez más demandado y en continua evolución, este proyecto resulta necesario para el sector agrícola, ya que el estudio de nuevas regiones productoras es determinante para el futuro de la almendra española, puesto se requiere un aumento de la producción y se precisa una recomendación de variedades con rendimientos superiores con las que poder optar a mejores precios y oportunidades de mercado.

## **2. OBJETIVOS**

El objetivo general de este estudio es recomendar las variedades de almendro disponibles en la actualidad del programa de Mejora Genética del CITA que se adapten mejor en diferentes Cuencas hidrográficas de la Península Ibérica en un escenario de cambio climático.

Los objetivos específicos son:

- Diferenciar climatológicamente 4 Cuencas hidrográficas de la Península Ibérica.
- Comprobar el modelo climático que mejor se ajusta a las variedades de almendro del CITA.
- Distinguir las variedades de almendro según la probabilidad de helarse en las 4 Cuencas analizadas.

Todo ello se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS nº2 Hambre Cero, nº12 Producción y consumo responsables y nº15 Vida de ecosistemas terrestres.

- Meta 2.3 - duplicar la productividad agrícola y los ingresos de los productores de alimentos en pequeña escala, en particular las mujeres, los pueblos indígenas, los agricultores familiares, los pastores y los pescadores, entre otras cosas mediante un acceso seguro y equitativo a las tierras, a otros recursos de producción e insumos, conocimientos, servicios financieros, mercados y oportunidades para la generación de valor añadido y empleos no agrícolas.
- Meta 2.4 - asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra.
- Meta 2.5 - mantener la diversidad genética de las semillas, las plantas cultivadas y los animales de granja y domesticados y sus especies silvestres conexas, entre otras cosas mediante una buena gestión y diversificación de los bancos de semillas y plantas a nivel nacional, regional e internacional, y promover el acceso a los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos y los conocimientos tradicionales y su distribución justa y equitativa, como se ha convenido internacionalmente.
- Meta 12.2 - lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.
- Meta 15.5 - adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de la diversidad biológica.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDIO**

Puesto que la selección de las variedades de almendro apropiadas para una zona determinada es crucial para alcanzar niveles de producción sostenibles, en este estudio se han escogido las Cuencas hidrográficas de la Península Ibérica, que abarcan casi el 50% del territorio.

Las cuencas seleccionadas han sido: Cuenca hidrográfica del Ebro (vertiente Mediterránea), Cuenca hidrográfica del Guadalquivir, Cuenca hidrográfica del Tago y Cuenca hidrográfica de Duero (todas ellas de la vertiente Atlántica). La localización de las estaciones meteorológicas se representa en la Figura 1:



**Figura 1. Localización de las estaciones meteorológicas en las cuatro Cuencas hidrográficas estudiadas.**

**1. Cuenca hidrográfica del Ebro: Estación meteorológica de Zuera, Zaragoza (Aragón).**

Se ha tenido acceso a los datos de la estación meteorológica de Zuera situada en el entorno de Zaragoza y cercana a la Finca experimental, cuya situación geográfica es la siguiente:

Coordenadas UTM ETRS89

Huso 30

X: 683.943

Y: 4.632.469

Altitud: 285 m

**2. Cuenca hidrográfica del Guadalquivir: Estación meteorológica de Córdoba (Andalucía).**

En este caso, se escoge aleatoriamente una estación meteorológica de Andalucía, la de Córdoba, en el Valle del Guadalquivir, una zona que presenta los rasgos más característicos del clima mediterráneo, cuyas coordenadas son las siguientes:

Coordenadas UTM ETRS89

Huso 30

X: 341.399

Y: 4.191.480

Altitud: 94 m

### **3. Cuenca hidrográfica del Tajo: Estación meteorológica de Guadalupe, Cáceres (Extremadura).**

El estudio climático de la Cuenca hidrográfica del Tajo se va a llevar a cabo mediante la información obtenida de una estación meteorológica seleccionada aleatoriamente de la zona de Extremadura, en concreto la estación de Guadalupe en Cáceres, próxima a dicho municipio, cuyas coordenadas son las siguientes:

Coordenadas UTM ETRS89

Huso 30

X: 301.341

Y: 4.373.252

Altitud: 18 m

### **4. Cuenca hidrográfica del Duero: Estación meteorológica de Aldearrubia, Salamanca (Castilla y León).**

De la misma manera que ocurre con Córdoba y Guadalupe, se elige al azar en Castilla y León, la estación meteorológica de Aldearrubia en Salamanca, cuyas coordenadas son las siguientes:

Coordenadas UTM ETRS89

Huso 30

X: 293.305

Y: 4.541.300

Altitud: 19 m

## **3.2 MATERIAL VEGETAL**

Para la realización del estudio se han utilizado 7 variedades de almendro ('D.Largueta', 'Guara', Soleta<sup>®</sup>, Isabelona<sup>®</sup>, Felama<sup>®</sup>, Vialfas<sup>®</sup> y Diamar<sup>®</sup>) injertadas sobre 8 patrones (Garnem<sup>®</sup>, Monegro<sup>®</sup>, GF-677, Garrigues, Rootpac<sup>®</sup> 20, Rootpac<sup>®</sup> R, Montizo y Cadaman).

En las variedades 'Guara', Soleta<sup>®</sup> e Isabelona<sup>®</sup> también se ha utilizado material vegetal autoenraizado 'in vitro' (AUTO). Todas ellas pertenecientes a un ensayo que actualmente el CITA mantiene en plantaciones en la Finca "El Vedado bajo del Horno", que cuenta con instalaciones agrícolas y ganaderas para ensayos de varios proyectos del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Se trata de una superficie de 322 ha, situada en el término municipal de Zuera, rodeada por los términos de Leciñena y San Mateo de Gállego.

A continuación, en las Tablas 1 y 2 se detallan brevemente algunas de las características más importantes de las variedades y patrones de estudio.

**Tabla 1. Características de las variedades de estudio.**

Fuente: Felipe *et al* (2017)

VARIEDAD	FLORACIÓN	POLINIZACIÓN	VIGOR	MADURACIÓN	RENDIMIENTO (%)
<b>'D.LARGUETA'</b>	Temprana	Autógama	Medio	Tardía	28
<b>'GUARA'</b>	Tardía	Autógama	Medio	Muy Temprana	35
<b>SOLETA<sup>®</sup></b>	Semi-Tardía	Autógama	Medio	Tardía	33
<b>ISABELONA<sup>®</sup></b>	Semi-Tardía	Autógama	Medio	Semi-Tardía	33
<b>FELAMA<sup>®</sup></b>	Semi-Tardía	Autógama	Medio	Semi-Tardía	30
<b>VIALFAS<sup>®</sup></b>	Extra-Tardía	Autógama	Medio	Temprana	25
<b>DIAMAR<sup>®</sup></b>	Extra-Tardía	Autógama	Medio	Temprana	24

**Tabla 2. Características de los patrones de estudio.**

Fuente: Felipe *et al* (2017)

PATRÓN	OBTENTOR	PAÍS	ORIGEN GENÉTICO	PADRES
<b>GARNEM<sup>®</sup></b>	CITA-Zaragoza	España	<i>P.dulcis x P.persica</i>	<i>Garfi x Nemared</i>
<b>MONEGRO<sup>®</sup></b>	CITA-Zaragoza	España	<i>P.dulcis x P.persica</i>	<i>Garfi x Nemared</i>
<b>GF-677</b>	INRA	Francia	<i>P.dulcis x P.persica</i>	<i>Garfi x Nemared</i>
<b>GARRIGUES</b>	-	-	<i>P.dulcis</i>	<i>P.dulcis</i>
<b>ROOTPAC<sup>®</sup> 20</b>	Agromillora Ibérica	España	<i>P.besseyi x P.cerasifera</i>	<i>Cerezo silvestre x Myrobalan</i>
<b>ROOTPAC<sup>®</sup> R</b>	Agromillora Iberia	España	<i>P.dulcis x P. cerasifera</i>	<i>Almendro x Myrobalan</i>
<b>MONTIZO</b>	CITA-Zaragoza	España	<i>P. insititia</i>	<i>Pollizo de Murcia</i>
<b>CADAMAN</b>	IFGO e INRA	Hungría y Francia	<i>P.persica</i>	<i>P.davidiana</i>

### 3.3 ESTUDIO FENOLÓGICO Y CALENDARIO DE FLORACIÓN DE VARIEDADES DE ALMENDRO EN LA CUENCA DEL EBRO

Durante la primavera del año 2019 y 2020 se ha realizado el seguimiento fenológico de las diferentes variedades de almendro en la Finca “El Vedado bajo del Horno”, siguiendo el estado fenológico durante los meses de febrero y marzo.

En la Figura 2 se muestra la localización de las parcelas de la finca de estudio donde semanalmente el personal del CITA llevó a cabo el seguimiento de floración para el posterior análisis.



**Figura 2. Situación y coordenadas de la Finca “El Vedado bajo del Horno” en la provincia de Zaragoza.**

**Fuente: SIGPAC**

Los estados fenológicos del almendro se han definido siguiendo los criterios propuestos por Felipe *et al* (2017). Los estados definidos corresponden a momentos concretos del desarrollo de una yema de flor, la apertura de la flor y una vez polinizada, su posterior evolución, crecimiento y maduración del fruto. Todos ellos se suceden durante el transcurso de un periodo anual de un almendro:

- A- Botón floral en reposo: yema de invierno, sólo son visibles las brácteas externas.
- B- Botón hinchado: la yema se hincha produciéndose un progresivo aumento de tamaño.
- C- Aparece el cáliz: el botón sigue aumentado de tamaño y alargándose, se hacen visibles los sépalos.
- D- Aparece la corola; al proseguir el aumento de tamaño del botón, se van separando los sépalos para dar paso a la corola cuyos pétalos permanecen todavía cerrados.
- E- Los pétalos comienzan su apertura por el ápice dejando ver los estambres cerrados y el estigma. Estado muy breve de duración en cada botón. Es el inicio de la antesis-.
- F- Flor abierta: los pétalos se despliegan completamente, se produce la dehiscencia de los estambres liberando al polen.
- G- Caída de pétalos: al mismo tiempo el estilo y los estambres se marchitan y desecan.
- H- Fruto cuajado: el ovario fecundado aumenta rápidamente de tamaño, provocando la rotura del cáliz hasta su total desprendimiento.
- I- Fruto joven: fase de rápido crecimiento del fruto.

- J- Futo desarrollado: ha alcanzado prácticamente el tamaño definitivo y se produce la lignificación del endocarpio (hueso) y la formación de los cotiledones.
- K- Fruto dehiscente: la semilla está madura, se inicia la dehiscencia del mesocarpio (envoltura verde carnososa).
- L- Madurez: fase de desecación gradual del mesocarpio y del péndulo. Se produce la capa de abscisión entre fruto y pedúnculo que facilitará el desprendimiento.

Todos estos estados fenológicos se completan cuando la planta ha acumulado una temperatura concreta, por lo que es importante saber el momento en el que se acumula dicha temperatura, ya que cuanto antes se acumule, antes completará cada uno de los estados y por tanto su ciclo vital se acorta. Es aquí cuando entra en juego la forma de cuantificar esta acumulación térmica.

### **3.4 ESTUDIO CLIMÁTICO**

Todas las estaciones meteorológicas seleccionadas tienen registros térmicos facilitados por el Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) y por la Oficina del Regante del Gobierno de Aragón de un periodo de 19 años (2003 - 2022).

Los datos de temperaturas medias, temperaturas medias máximas y temperaturas medias mínimas quedan reflejados en el Anejo 1 de este trabajo.

### **3.5 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES TÉRMICAS DEL ALMENDRO**

Existen varios modelos matemáticos para calcular la acumulación de frío y de calor, útiles para predecir los impactos del cambio climático y fundamentales para delinear medidas de mitigación y adaptación. Debido a que en las próximas décadas se prevé un aumento de la temperatura, resulta imprescindible conocer el impacto que pueden tener estos cambios en el almendro puesto que ponen en riesgo el crecimiento y el desarrollo fisiológico del cultivo. Es decir, son parámetros útiles para los productores porque indican la posibilidad de condiciones insuficientes de frío y exceso de calor durante la vida del cultivo (Freitas, 2023).

#### **3.5.1 MODELOS DE ESTIMACIÓN DE FRÍO ACUMULADO**

Según estudios realizados en varias especies frutales de hueso (Fadón *et al.*, 2020b; Rodrigo *et al.*, 2020b; Rodríguez *et al.*, 2018) se han aplicado diferentes modelos para cuantificar el frío acumulado útil para satisfacer las necesidades de frío. Los tres métodos más utilizados en la bibliografía para el cálculo de las horas frío son: ‘Horas de frío’ (HF) por debajo de 7°C según (Weimberger, 1950), ‘Unidades de frío’ (UF) según el modelo Utah tradicional (Richardson *et al.*, 1974) y como ‘Porciones de frío’ (PF) según el denominado modelo “Dinámico” (Fishman *et al.*, 1987).

- El modelo de horas bajo 7°C de Weimberger define una ‘Hora de frío’ (HF) como una hora con temperaturas entre 0 y 7,2°C.
- El modelo de Utah propone el uso de ‘Unidades de frío’ (UF), que se calculan a partir de pesos de efectividad de enfriamiento asignados a distintos rangos de temperatura, donde la eficiencia óptima para la acumulación de unidades de enfriamiento está entre 2,5 y 9,1°C. Las temperaturas fuera de ese rango tienen eficiencias más bajas y las temperaturas superiores a 15,9°C penaliza la acumulación de frío restando unidades de frío. Se utilizan los pesos de Richardson *et al.*, (1974), que son los más utilizados, pero existen otras versiones con valores de acumulación de frío modificados para diferentes rangos.
- El modelo dinámico es el más complejo y define el uso de ‘Porciones de frío’ (PF) que se acumulan a través de un proceso de dos pasos basado en la diferente efectividad del ciclo de temperaturas bajas y altas.

En estos dos últimos métodos (UF y PF) se utilizan temperaturas horarias, mientras que en el método de Weimberger (HF) se trabaja con temperaturas diarias.

El empleo de diferentes métodos para la determinación de las necesidades de frío permite conocer diferentes correlaciones entre ambos, aunque en el almendro hay menos estudios que en otras especies frutales.

En estudios llevados a cabo en el albaricoque, estos modelos de cuantificación de frío no tienen una equivalencia directa y no se aprecian diferencias significativas entre los modelos de estimación de las necesidades de frío, por lo que se concluye que cualquiera de los tres métodos de cálculo es idóneo para estimar las necesidades de frío en variedades de este cultivo. Actualmente, en almendro no existen tantos estudios comparativos. Así pues, los resultados de las horas frío dependen especialmente de la localización de la finca donde se encuentra el material vegetal, latitud, distancia al mar y otros factores.

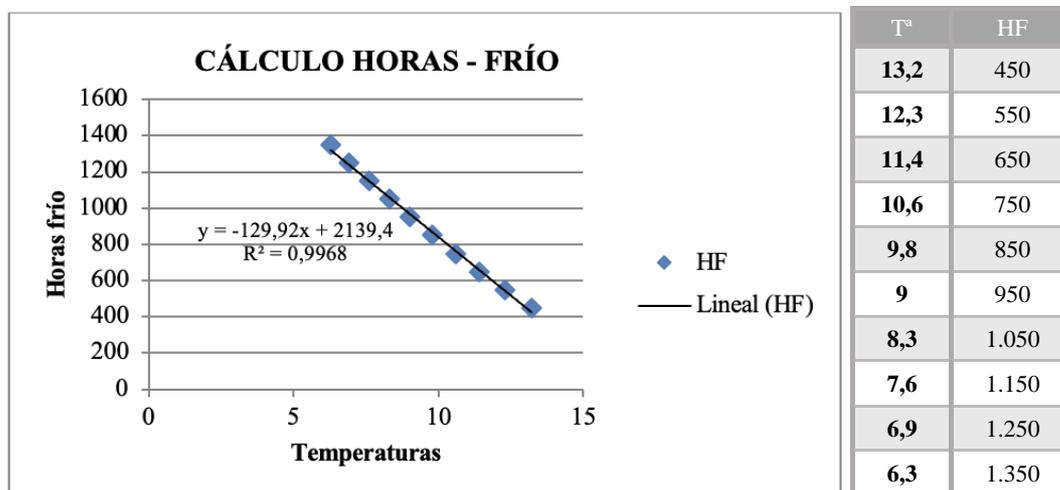
### **3.5.1.1 CÁLCULO DEL NÚMERO DE HORAS FRÍO**

El cómputo de horas frío se puede realizar mediante diferentes métodos de cálculo, ya sean directos o indirectos. El método directo se basa en los registros del termógrafo, pero poco se usa en nuestro país debido a la falta de este instrumento en las estaciones meteorológicas. En este trabajo, al disponer de datos de temperatura diarios y no horarios y debido al inconveniente que presenta el método directo, se utiliza la correlación de Weimberger y la correlación de Mota mediante los siguientes métodos de cálculo:

### a) Correlación de Weimberger

La estimación del número de horas frío mediante este método parte de la media de temperaturas medias de diciembre y enero.

Tabla 3. Datos para la correlación de Weimberger.



### b) Correlación de Mota

El número mensual de horas frío se determina con la siguiente fórmula:

$$y = 485,1 - 28,52x$$

Siendo:

y = número mensual de horas bajo 7° C.

x = temperatura media mensual de noviembre, diciembre, enero y febrero.

Conocido el número de horas frío por un determinado método se puede determinar si el cultivo estudiado está ubicado de manera correcta en función de sus requerimientos térmicos, así como si es posible introducir nuevas variedades cuyos requerimientos de frío se ajustan a las características climáticas de la región. Estos cálculos pueden variar según el modelo utilizado para el estudio.

### 3.5.2 PREDICCIÓN DEL NÚMERO DE HORAS DE CALOR

Es importante que el número de horas frío se complemente con la acumulación de unas horas de calor, ya que es un requisito necesario para romper la ecodormancia, experimentada cuando las temperaturas son desfavorables para el crecimiento del cultivo (Dennis, 2003). La relación entre ambos factores condiciona el sabor, el tamaño y la calidad del fruto, por lo que es importante de cara a la producción y comercialización de la almendra.

El método descrito por Richardson *et al* (1975), la predicción del número de horas de calor (grados hora de crecimiento, GDH) desde el final de la latencia hasta la plena floración, se estima

como la media de la acumulación de grados Celsius hora de crecimiento, desde la fecha de transición estimada hasta la fecha de plena floración ( $F50$ ) de cada cultivar para cada una de las estaciones de estudio. Un GDH se define como 1 h a una temperatura  $1^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura base de  $4,5^{\circ}\text{C}$ . Las GDH se calculan restando  $4,5^{\circ}\text{C}$  de cada temperatura horaria entre  $4,5$  y  $25^{\circ}\text{C}$ . Todas las temperaturas superiores a  $25^{\circ}\text{C}$  se suponen iguales a  $25^{\circ}\text{C}$ ; por tanto, la mayor acumulación para cualquier hora es de  $20,5$  GDH (Amer, 2005).

Al no disponer de los datos horarios necesarios para la utilización de este método, en primer lugar las necesidades de calor se determinarán como el sumatorio de las temperaturas máximas y mínimas diarias (Grados-día de Crecimiento, GDD) desde el final del reposo invernal hasta la plena floración (Tabuenca *et al.*, 1972). Este método puede quedar ya en desuso y más recientemente en el cómputo de las necesidades de calor se utilizan las temperaturas máximas y mínimas diarias teniendo también en cuenta el 0 de crecimiento del almendro, según la expresión descrita por Sakar *et al* (2023).

$$\text{GDD} = \sum_1^n \left[ \frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} \right] - T_b$$

Siendo:

$\Sigma$  la suma entre el día 1 y n desde el final del reposo invernal hasta la plena floración;

$T_{\max}$ = temperatura máxima diaria,  $T_{\min}$ = temperatura mínima diaria y  $T_b$ = temperatura base para el desarrollo del almendro ( $4,5^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.6 TEMPERATURAS ESTIVALES

En los métodos de cómputo de las necesidades calor de esta especie, todas las temperaturas superiores a  $25^{\circ}\text{C}$  se consideran de efecto igual a  $25^{\circ}\text{C}$ , sin embargo se ha descrito que la temperatura máxima crítica para el almendro es de  $36^{\circ}\text{C}$  o superior, temperatura que promueve un crecimiento lento y prematuro y que además puede provocar estrés por calor, disminuyendo los valores de GDH/día (Anderson, 1986; Freitas, 2023).

En cada una de las estaciones meteorológicas seleccionadas, en cada año de la serie estudiada, se ha contado el número de días con  $T^a > a$  los  $36^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente se ha realizado un análisis de tendencia de la evolución de las altas temperaturas en la serie temporal de datos climáticos.

### 3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Después de comprobar la normalidad y homocedasticidad de los datos obtenidos se ha realizado un análisis de varianza (ANOVA) para determinar el efecto de la Cuenca (situación geográfica) sobre los parámetros analíticos estudiados. La diferencia entre las medias se ha evaluado con el test que expresa la mínima diferencia significativa (PLSD) de Fisher con una significatividad de  $p \leq 0,05$ . Para determinar la tendencia de los datos térmicos en una serie temporal se ha aplicado

la correlación, no paramétrica, de Mann-Kendall. Para ello se ha utilizado el programa estadístico Statview (SAS institute inc.).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 HORAS FRÍO, RÉGIMEN DE HELADAS Y TEMPERATURAS MÁXIMAS ESTIVALES EN LAS DIFERENTES CUENCAS

Los valores de temperatura son los datos de mayor interés a la hora de estudiar la viabilidad de un cultivo en una determinada área geográfica, ya que en función de ellos se elegirán las variedades, en este caso de almendro que mejor se adapten a cada zona. Los parámetros más habituales que se tienen en cuenta en el contexto diario son la temperatura media, útil para calcular el número de horas frío y las temperaturas máximas y mínimas, de gran importancia, tanto por la resistencia al frío invernal que presenta el almendro como por los daños que se pueden originar por heladas.

No obstante, también hay que considerar que a escala local los principales factores que modulan parámetros climáticos son el relieve y la topografía (Felipe *et al.*, 2022).

#### 1. Cuenca hidrográfica del Ebro: Estación meteorológica de Zuera, Zaragoza (Aragón).

La Cuenca hidrográfica del Ebro se caracteriza por una temperatura media anual de 14,85°C. Las temperaturas mínimas, se registran en los meses de diciembre, enero y febrero, con una mínima anual de 8,45°C (Tabla 4).

**Tabla 4. Temperaturas promedio en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Zuera. Fuente: Oficina del Regante**

MESES	Tª MEDIA (°C)	Tª MÁXIMA (°C)	Tª MÍNIMA (°C)
<b>ENERO</b>	5,56	10,95	1,00
<b>FEBRERO</b>	6,96	13,94	1,53
<b>MARZO</b>	10,10	17,17	3,98
<b>ABRIL</b>	13,69	20,05	6,77
<b>MAYO</b>	18,01	25,18	10,18
<b>JUNIO</b>	22,70	31,02	14,50
<b>JULIO</b>	25,35	33,59	16,68
<b>AGOSTO</b>	24,51	32,61	16,67
<b>SEPTIEMBRE</b>	20,51	28,56	13,94
<b>OCTUBRE</b>	15,59	22,77	9,79
<b>NOVIEMBRE</b>	9,60	15,45	5,32
<b>DICIEMBRE</b>	5,68	10,90	1,11
<b>MEDIA ANUAL</b>	<b>14,85</b>	<b>21,85</b>	<b>8,45</b>

No son preocupantes las bajas temperaturas estivales ya que no se dan valores lo suficientemente bajos para que puedan ocasionar inconvenientes en el desarrollo del cultivo del almendro. Respecto a las altas temperaturas estivales, en la Cuenca del Ebro, como se puede observar en la Tabla 5, éstas se dan ocasionalmente en los meses de verano.

**Tabla 5. Temperaturas estivales en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Zuera.**

Fuente: Oficina del Regante

MES	Tº MÁXIMA (°C)
<b>JUNIO</b>	34,11
<b>JULIO</b>	36,42
<b>AGOSTO</b>	35,10
<b>SEPTIEMBRE</b>	32,47

*a) Correlación de Weimberger*

La media de las temperaturas medias de los meses de enero y diciembre según los datos recogidos en la Oficina del Regante en el periodo 2003-2022 es de 5,62°C por lo que se llega a un resultado de 1.409 horas frío.

*b) Correlación de Mota*

Si se usa este método para dicho cálculo se llega a un número total de 1.147 horas frío.

Si se hace un estudio temporal (2003 al 2022) de la acumulación de horas frío por año para ver que tendencia presenta (Tabla 6 – Figura 3), en el caso de la Cuenca del Ebro, prácticamente este cómputo se mantiene constante, sin embargo cuando se utiliza la correlación de Weimberger, se observan cambios más notables.

**Tabla 6. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Zuera.**

CORRELACIÓN DE WEIMBERGER		CORRELACIÓN DE MOTA	
AÑO	Nº DE HORAS FRÍO	AÑO	Nº DE HORAS FRÍO
2003	1.517,73	2003	1.221,13
2004	1.450,82	2004	1.214,57
2005	1.540,47	2005	1.215,14
2006	1.552,16	2006	1.194,60
2007	1.287,77	2007	1.148,40
2008	1.432,64	2008	1.231,96
2009	1.526,83	2009	1.227,11
2010	1.464,47	2010	1.187,19
2011	1.384,56	2011	1.067,40
2012	1.299,47	2012	1.063,78
2013	1.522,28	2013	1.208,86
2014	1.207,22	2014	1.024,62
2015	1.374,17	2015	1.136,42
2016	1.491,75	2016	1.197,45
2017	1.521,63	2017	1.212,85
2018	1.168,25	2018	1.063,12
2019	1.287,77	2019	1.073,68
2020	1.433,28	2020	1.077,38
2021	1.341,69	2021	1.057,14
2022	1.376,77	2022	1.025,76

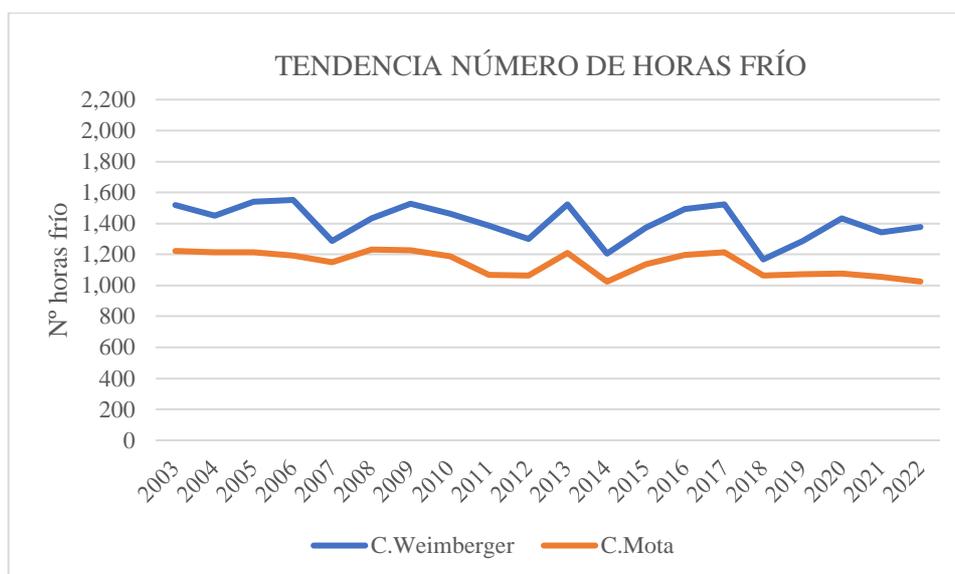


Figura 3. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Zuera (Zaragoza).

En cuanto a las temperaturas inferiores a 0°C con peligro para la producción (Tabla 7), según los datos obtenidos por la Oficina del Regante, se observa cómo las primeras y últimas heladas se dan en los meses de diciembre, enero, y ocasionalmente, en febrero.

Tabla 7. Temperaturas < 0° en Zuera.  
Fuente: Oficina del Regante

AÑO	PRIMERA HELADA	ÚLTIMA HELADA
2003	13/01/2003	30/12/2003
2004	03/01/2004	27/12/2004
2005	15/01/2005	29/12/2005
2006	22/01/2006	30/12/2006
2007	27/01/2007	29/12/2007
2008	03/02/2008	01/12/2008
2009	06/02/2009	30/12/2009
2010	25/01/2010	30/12/2010
2011	02/01/2011	28/12/2011
2012	09/01/2012	31/12/2012
2013	03/01/2013	31/12/2013
2014	01/01/2014	31/12/2014
2015	01/01/2015	30/12/2015
2016	20/01/2016	31/12/2016
2017	01/01/2017	25/12/2017
2018	08/01/2018	31/12/2018
2019	01/01/2019	28/12/2019
2020	02/01/2020	31/12/2020
2021	04/01/2021	01/12/2021
2022	02/01/2022	01/12/2022

El atlas climático de Aragón (2019) determina que en la zona de Zuera el número medio de días con heladas oscila entre los 40-50 días.

## 2. Cuenca hidrográfica del Guadalquivir: Estación meteorológica de Córdoba (Andalucía).

La temperatura media anual de Córdoba en los años de estudio es 18,44°C (Tabla 8). En esta zona de Andalucía, las temperaturas mínimas también se dan en los meses de diciembre, enero y febrero con una media mínima de 11,07°C, algo superiores en comparación con la estación de Zuera.

**Tabla 8. Temperaturas promedio en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Córdoba.**  
Fuente: SIAR

MESES	Tª MEDIA (°C)	Tª MÁXIMA (°C)	Tª MÍNIMA (°C)
<b>ENERO</b>	8,19	14,79	3,12
<b>FEBRERO</b>	10,10	16,76	4,55
<b>MARZO</b>	12,84	19,77	6,83
<b>ABRIL</b>	15,80	22,60	9,70
<b>MAYO</b>	20,11	27,74	12,58
<b>JUNIO</b>	24,81	32,89	16,40
<b>JULIO</b>	28,09	36,78	18,83
<b>AGOSTO</b>	27,94	36,52	19,22
<b>SEPTIEMBRE</b>	23,80	31,44	16,81
<b>OCTUBRE</b>	18,77	25,98	12,98
<b>NOVIEMBRE</b>	12,35	18,81	7,36
<b>DICIEMBRE</b>	9,20	15,55	4,50
<b>MEDIA ANUAL</b>	<b>18,44</b>	<b>25,00</b>	<b>11,07</b>

En general, las temperaturas son más altas que en la estación meteorológica de Aragón y tampoco se darían problemas ocasionados por las temperaturas estivales bajas.

Las temperaturas máximas se registran en la época estival, en los meses de junio a septiembre llegando a los 40°C en el mes de julio (Tabla 9).

**Tabla 9. Temperaturas medias de las máximas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Córdoba.**  
Fuente: SIAR

MES	Tª MÁXIMA (°C)
<b>JUNIO</b>	35,90
<b>JULIO</b>	40,02
<b>AGOSTO</b>	38,46
<b>SEPTIEMBRE</b>	33,18

### a) Correlación de Weimberger

La media de las temperaturas medias de los meses de enero y diciembre según los datos recogidos en el SIAR en el periodo 2003-2022 es de 8,7°C por lo que llegamos a un resultado de 1.009 horas frío.

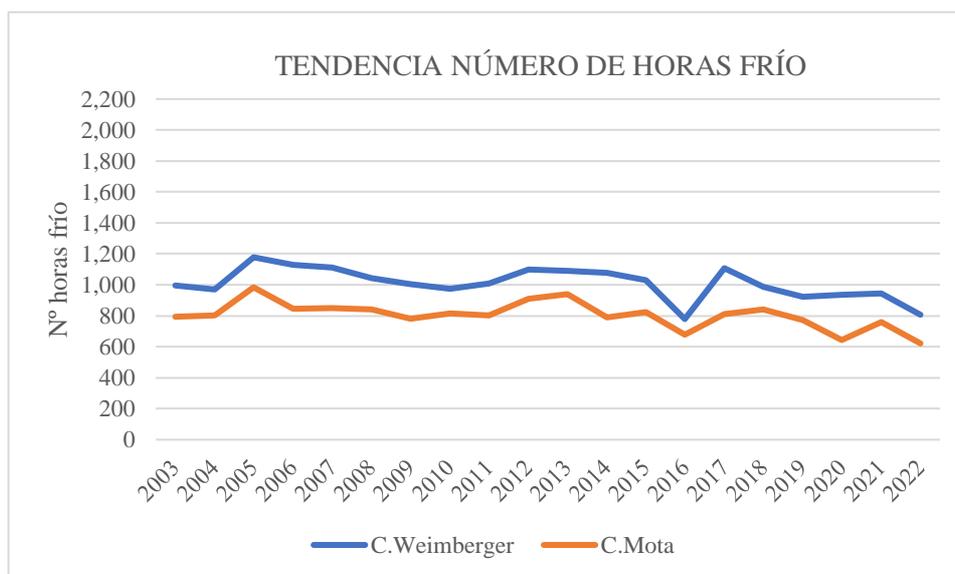
*b) Correlación de Mota*

Si se usa este método para dicho cálculo se llega a un número total de 804 horas frío.

En el estudio de la acumulación de horas frío por año en esta zona de Andalucía, (Tabla 10 – Figura 4) la tendencia es constante, apreciándose un pico entre los años 2015 y 2017 según la correlación de Weimberger y un ligero aumento entre los años 2017 y 2019 según la correlación de Mota.

**Tabla 10. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Córdoba.**

CORRELACIÓN DE WEIMBERGER		CORRELACIÓN DE MOTA	
AÑO	Nº DE HORAS FRÍO	AÑO	Nº DE HORAS FRÍO
2003	998,05	2003	795,32
2004	970,12	2004	804,45
2005	1.177,99	2005	984,12
2006	1.130,57	2006	845,23
2007	1.109,78	2007	848,08
2008	1.044,17	2008	840,38
2009	1.005,20	2009	781,92
2010	972,72	2010	816,71
2011	1.007,15	2011	802,17
2012	1.097,44	2012	911,68
2013	1.090,95	2013	938,78
2014	1.078,60	2014	788,19
2015	1.030,53	2015	823,84
2016	779,14	2016	678,39
2017	1.108,48	2017	809,30
2018	985,71	2018	840,67
2019	924,00	2019	771,94
2020	936,34	2020	645,02
2021	946,08	2021	760,24
2022	806,42	2022	621,64



**Figura 4. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Córdoba (Córdoba).**

Con ayuda de la Tabla 11 se puede observar que el mayor riesgo de heladas se produce en enero, aunque también pueden darse menos frecuentemente en los meses de febrero y marzo en plena floración.

Según la Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul de la Junta de Andalucía (2016), en Córdoba hay una probabilidad de 2 a 20 días de heladas al año.

**Tabla 11. Temperaturas < 0° en Córdoba.**  
Fuente: SIAR

AÑO	PRIMERA HELADA	ÚLTIMA HELADA
2003	11/01/2003	02/02/2003
2004	19/01/2004	31/12/2004
2005	07/01/2005	18/12/2005
2006	04/01/2006	23/12/2006
2007	06/01/2007	16/12/2007
2008	24/03/2008	26/12/2008
2009	08/01/2009	20/12/2009
2010	08/01/2010	17/12/2010
2011	31/01/2011	31/12/2011
2012	01/01/2012	03/12/2012
2013	06/01/2013	30/12/2013
2014	07/01/2014	31/12/2014
2015	01/01/2015	24/11/2015
2016	17/02/2016	12/03/2016
2017	09/01/2017	19/12/2017
2018	09/01/2018	31/12/2018
2019	02/01/2019	17/11/2019
2020	12/01/2020	31/12/2020
2021	02/01/2021	04/12/2021
2022	09/01/2022	15/02/2022

### **3. Cuenca hidrográfica del Tajo: Estación meteorológica de Guadalupe, Cáceres (Extremadura).**

En la tercera zona estudiada, las temperaturas mínimas también aparecen en los meses de diciembre, enero y febrero, con una media mínima anual de 11,82°C, valor muy similar a la estación andaluza. La temperatura media anual de estos años ha sido 15,62°C.

**Tabla 12. Temperaturas promedio en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Guadalupe.**

Fuente: SIAR

MESES	Tª MEDIA (°C)	Tª MÁXIMA (°C)	Tª MÍNIMA (°C)
<b>ENERO</b>	7,28	10,17	4,84
<b>FEBRERO</b>	8,28	11,57	5,24
<b>MARZO</b>	10,17	13,95	6,74
<b>ABRIL</b>	12,64	16,65	9,14
<b>MAYO</b>	17,33	21,61	12,99
<b>JUNIO</b>	21,81	26,33	16,73
<b>JULIO</b>	25,88	31,35	20,47
<b>AGOSTO</b>	26,22	31,54	20,46
<b>SEPTIEMBRE</b>	21,82	26,72	17,85
<b>OCTUBRE</b>	16,98	20,86	14,10
<b>NOVIEMBRE</b>	10,74	13,83	7,84
<b>DICIEMBRE</b>	8,26	11,24	5,47
<b>MEDIA ANUAL</b>	<b>15,62</b>	<b>19,65</b>	<b>11,82</b>

En cuanto a las bajas temperaturas estivales, con temperaturas parecidas a las de la estación meteorológica de Córdoba, tampoco es preocupante para el correcto desarrollo del almendro.

A cerca de las altas temperaturas estivales, en esta zona, como se puede observar en la Tabla 13, estas máximas se dan puntualmente en el mes de junio y más frecuentemente en julio y agosto.

**Tabla 13. Altas temperaturas estivales en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Guadalupe.**

Fuente: SIAR

MES	Tª MÁXIMA (°C)
<b>JUNIO</b>	30,74
<b>JULIO</b>	35,02
<b>AGOSTO</b>	34,07

*a) Correlación de Weimberger*

La media de las temperaturas medias de los meses de enero y diciembre según los datos recogidos en el SIAR en el periodo 2003-2022 es de 7,77°C por lo que llegamos a un resultado 1.139 de horas frío.

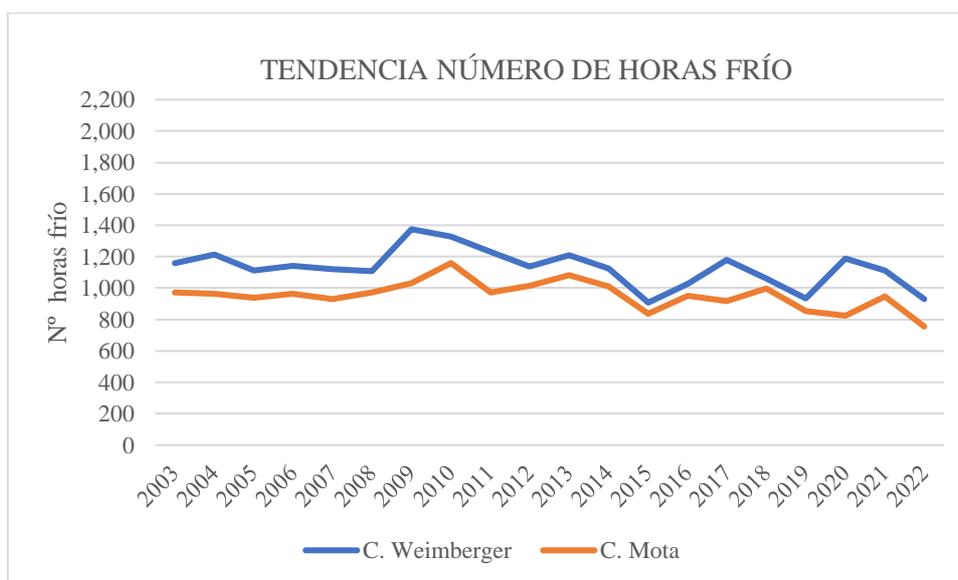
*b) Correlación de Mota*

Si se usa este método para dicho cálculo se llega a un número total de 954 horas frío.

Como se puede observar en la Tabla 14 y la Figura 5, es el caso donde la acumulación del número de horas frío presenta más cambios, con incrementos y descensos aleatorios entre los diferentes años de estudio.

**Tabla 14. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Guadalupe.**

CORRELACIÓN DE WEIMBERGER		CORRELACIÓN DE MOTA	
AÑO	Nº DE HORAS FRÍO	AÑO	Nº DE HORAS FRÍO
2003	1.159,80	2003	971,58
2004	1.212,42	2004	961,88
2005	1.113,68	2005	937,35
2006	1.139,67	2006	965,59
2007	1.119,53	2007	929,94
2008	1.106,54	2008	970,43
2009	1.374,82	2009	1.032,61
2010	1.326,75	2010	1.159,24
2011	1.231,26	2011	973,57
2012	1.135,77	2012	1.013,21
2013	1.209,17	2013	1.081,09
2014	1.126,02	2014	1.008,65
2015	907,76	2015	838,67
2016	1.025,34	2016	950,76
2017	1.178,64	2017	918,53
2018	1.060,41	2018	999,53
2019	933,74	2019	855,21
2020	1.187,74	2020	822,70
2021	1.113,68	2021	945,34
2022	931,14	2022	754,82



**Figura 5. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Guadalupe (Cáceres)**

Haciendo mención del régimen de temperaturas que podrían provocar heladas primaverales (Tabla 15), este caso trata de una zona en la que este parámetro no supone un problema grave para la plantación de almendro, puesto que ocurren ocasionalmente a lo largo de los meses de enero, febrero y diciembre.

**Tabla 15. Temperaturas < 0° en Guadalupe.**  
Fuente: SIAR

AÑO	PRIMERA HELADA	ÚLTIMA HELADA
2003	01/01/2003	03/01/2003
2004	16/01/2004	18/01/2004
2005	04/02/2005	16/02/2005
2006	-	-
2007	-	-
2008	06/03/2008	26/12/2008
2009	07/01/2009	27/12/2009
2010	07/01/2010	15/02/2010
2011	-	-
2012	02/02/2012	30/12/2012
2013	24/02/2013	13/03/2013
2014	-	-
2015	17/01/2015	08/02/2015
2016	-	-
2017	18/01/2017	19/01/2017
2018	07/02/2018	08/02/2018
2019	-	-
2020	05/12/2020	06/12/2020
2021	02/01/2021	12/01/2021
2022	-	-

#### **4. Cuenca hidrográfica del Duero: Estación meteorológica de Aldearrubia, Salamanca (Castilla y León).**

La temperatura media anual es de 12,25°C, valor inferior a las tres estaciones meteorológicas anteriores. Esta zona de Extremadura es la zona más fría estudiada, presentando las temperaturas mínimas también en los meses de diciembre, enero y febrero, incluso en noviembre y marzo, con una media anual en las temperaturas mínimas durante estos años de 5,25°C.

**Tabla 16. Temperaturas promedio en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Aldearrubia.**  
Fuente: SIAR

MESES	Tª MEDIA (°C)	Tª MÁXIMA (°C)	Tª MÍNIMA (°C)
<b>ENERO</b>	3,30	8,89	0,00
<b>FEBRERO</b>	4,63	11,52	-1,41
<b>MARZO</b>	6,94	14,00	0,45
<b>ABRIL</b>	10,17	16,72	3,73
<b>MAYO</b>	14,19	21,17	6,93
<b>JUNIO</b>	18,17	25,96	10,15
<b>JULIO</b>	20,88	29,90	11,61
<b>AGOSTO</b>	20,00	29,83	11,10
<b>SEPTIEMBRE</b>	16,37	25,23	8,56
<b>OCTUBRE</b>	12,23	20,19	5,03
<b>NOVIEMBRE</b>	6,93	12,74	1,85
<b>DICIEMBRE</b>	4,25	9,59	-0,26
<b>MEDIA ANUAL</b>	<b>12,25</b>	<b>19,71</b>	<b>5,25</b>

A diferencia del resto de estaciones estudiadas, en este caso, las bajas temperaturas estivales referenciadas en la Tabla 17, podrían tenerse en cuenta debido a que los valores obtenidos son más bajos que los que se dan habitualmente en estos meses.

**Tabla 17. Bajas temperaturas estivales en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Aldearrubia.**  
Fuente: SIAR

MES	Tª MÁXIMA (°C)
<b>JUNIO</b>	7,79
<b>JULIO</b>	9,81
<b>AGOSTO</b>	9,81
<b>SEPTIEMBRE</b>	6,49

Respecto a las temperaturas estivales altas, aunque es la estación estudiada más fría, también se deben tener en cuenta ya que aparecen los valores reflejados en la Tabla 18, muy puntualmente en el mes de junio y con valores también bajos, en los meses de julio y agosto.

**Tabla 18. Altas temperaturas estivales en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Aldearrubia.**  
Fuente: SIAR

MES	Tª MÁXIMA (°C)
<b>JUNIO</b>	30,00
<b>JULIO</b>	33,40
<b>AGOSTO</b>	31,96

*a) Correlación de Weimberger*

La media de las temperaturas medias de los meses de enero y diciembre según los datos recogidos en el SIAR en el periodo 2003-2022 es de 3,77°C por lo que llegamos a un resultado de 1.649 horas frío.

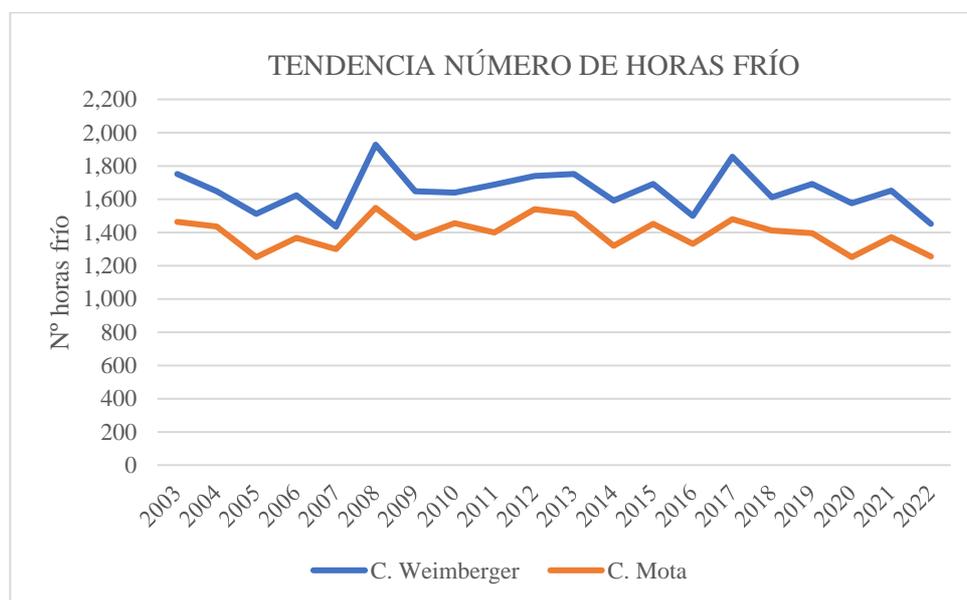
*b) Correlación de Mota*

Si se usa este método para dicho cálculo se llega a un número total de 1.395 horas frío.

La acumulación del número de horas frío tiende a ser constante con una ligera disminución en estos dos últimos años, presentando, además, dos picos entre los años 2007 y 2009, y 2016 y 2018 según la correlación de Weimberger (Tabla 19 – Figura 6).

**Tabla 19. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Aldearrubia.**

CORRELACIÓN DE WEIMBERGER		CORRELACIÓN DE MOTA	
AÑO	Nº DE HORAS FRÍO	AÑO	Nº DE HORAS FRÍO
2003	1.752,24	2003	1.462,12
2004	1.645,70	2004	1.435,03
2005	1.513,19	2005	1.251,07
2006	1.623,62	2006	1.369,14
2007	1.433,93	2007	1.299,27
2008	1.927,63	2008	1.547,39
2009	1.646,35	2009	1.368,00
2010	1.639,21	2010	1.456,99
2011	1.685,33	2011	1.399,66
2012	1.738,60	2012	1.540,83
2013	1.751,59	2013	1.510,03
2014	1.593,09	2014	1.319,80
2015	1.691,18	2015	1.451,00
2016	1.498,89	2016	1.330,64
2017	1.854,88	2017	1.477,52
2018	1.611,92	2018	1.410,78
2019	1.691,18	2019	1.395,67
2020	1.574,25	2020	1.253,07
2021	1.652,20	2021	1.372,85
2022	1.450,82	2022	1.255,92



**Figura 6. Tendencia del número de horas frío en la estación meteorológica de Aldearrubia (Salamanca).**

En esta última estación, (Tabla 20), se observa que en, prácticamente todos los días desde mediados de octubre hasta mediados de abril se pueden producir heladas, siendo relevante para la producción las heladas primaverales por lo que es un factor muy importante a tener en cuenta en esta zona.

**Tabla 20. Temperaturas < 0° en Aldearrubia.**  
**Fuente: SIAR**

AÑO	PRIMERA HELADA	ÚLTIMA HELADA
2003	05/01/2003	31/12/2003
2004	06/01/2004	30/12/2004
2005	01/01/2005	31/12/2005
2006	07/01/2006	25/12/2006
2007	06/01/2007	22/12/2007
2008	01/01/2008	29/12/2008
2009	05/01/2009	27/12/2009
2010	06/01/2010	27/12/2010
2011	10/01/2011	31/12/2011
2012	01/01/2012	30/12/2012
2013	01/01/2013	30/12/2013
2014	10/01/2014	31/12/2014
2015	01/01/2015	30/12/2015
2016	12/01/2016	31/12/2016
2017	01/01/2017	26/12/2017
2018	01/01/2018	31/12/2018
2019	01/01/2019	31/12/2019
2020	01/01/2020	31/12/2020
2021	01/01/2021	31/12/2021
2022	01/01/2022	28/12/2022

La acumulación de horas frío en las 4 Cuencas hidrográficas de estudio oscila entre aproximadamente 800 y 1700 (Figura 7), no es un factor limitante para el cultivo del almendro en ninguna de las zonas geográficas puesto que según Rohde y Bhalerao (2007), las horas requeridas para este frutal oscila entre 200 y 500.

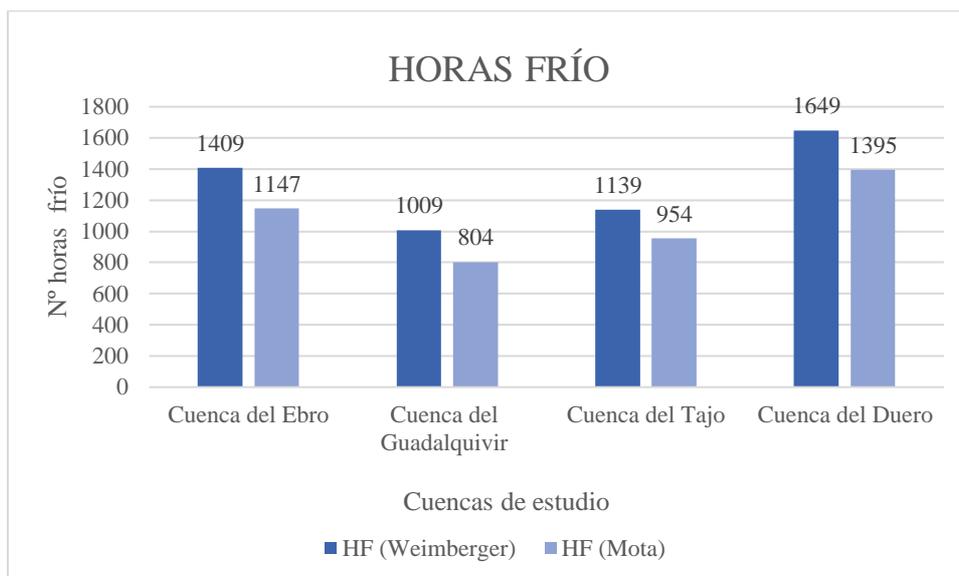


Figura 7. Acumulación de horas frío en las Cuenca hidrográficas estudiadas.

Considerando el número de horas frío, se observa que existen diferencias altamente significativas ( $p < 0,0001$ ) entre las cuencas estudiadas. La cuenca del Duero es la zona geográfica que presenta un número significativamente mayor de horas frío y la cuenca del Guadalquivir es la zona que registra un número significativamente inferior de este valor. Las cuencas del Tajo y el Ebro registran valores intermedios (Figura 8). También se puede observar que el método de Weimberger ofrece valores menos variables en condiciones climáticas más cálidas que los que se obtiene con la correlación de Mota (Figura 9).

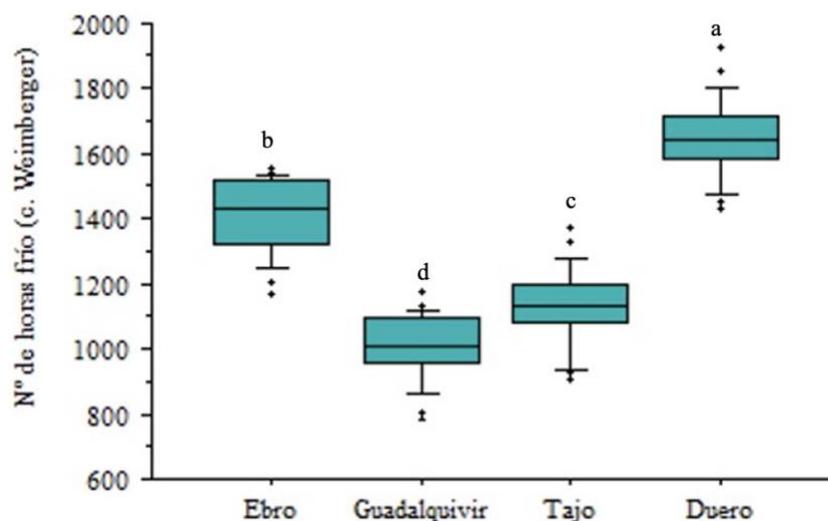
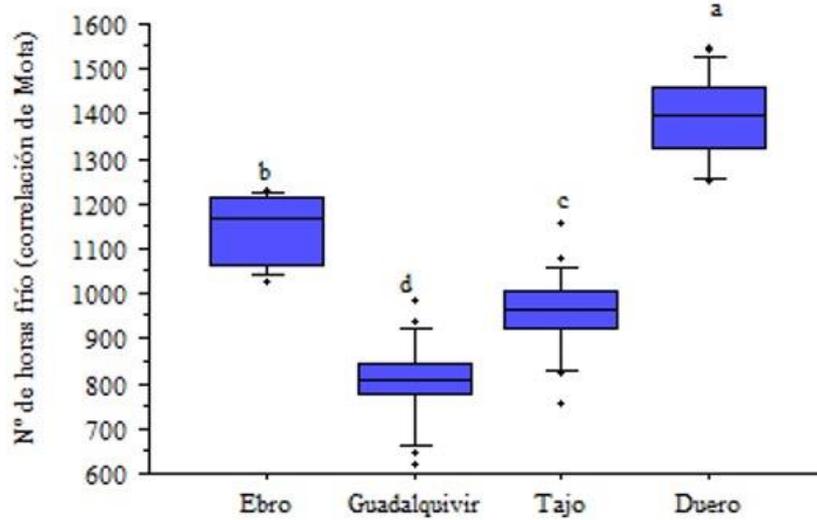
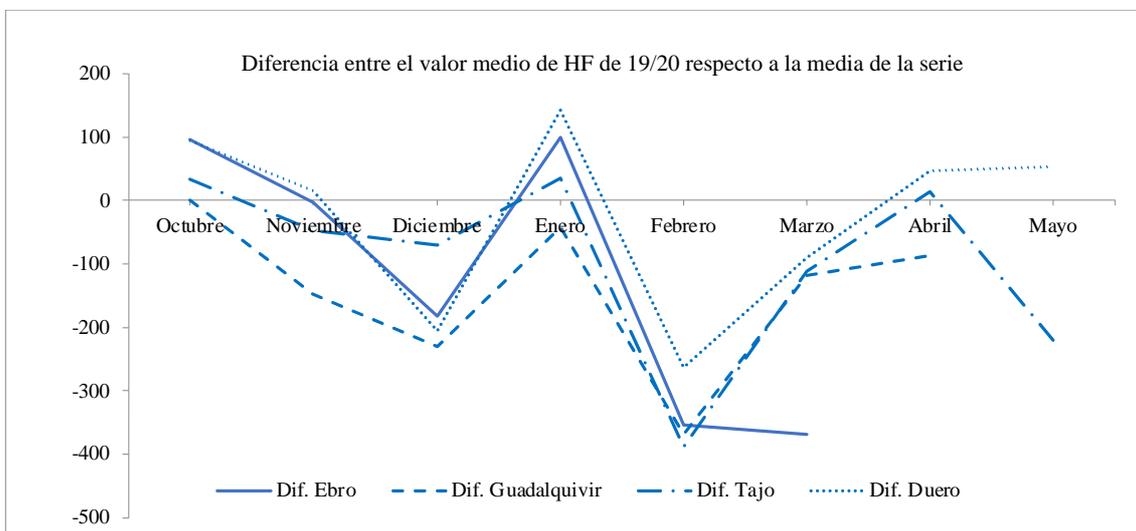


Figura 8. Diagrama de cajas del número de horas frío por Cuenca hidrográfica representando las mínimas, medias, máximas y valores atípicos. Letras diferentes indican diferencias significativas en el valor medio de este parámetro según la localidad ( $p < 0,05$ ).



**Figura 9. Diagrama de cajas del número de horas frío por Cuenca hidrográfica representando las mínimas, medias, máximas y valores atípicos. Letras diferentes indican diferencias significativas en el valor medio de este parámetro según la localidad ( $p < 0,05$ ).**

En la figura 10 se representa la variación del número de horas frío del periodo 2019/2020, respecto a la media mensual obtenida en el periodo 2003/2022. Se ha estimado que la fase de enfriamiento está comprendida entre los meses de octubre y mayo, cumpliéndose el requisito de frío entorno a enero/febrero y extendiéndose hasta mayo en las zonas más cálidas (Freitas *et al.*, 2023).



**Figura 10. Diferencia entre el valor medio de horas frío de 2019/2020 respecto a la media de la serie en las Cuencas hidrográficas estudiadas.**

Valores positivos (por encima del 0) indican que durante el periodo 2019/2020 ha aumentado el frío (octubre, noviembre, enero y abril) según las estaciones. En cambio en diciembre, febrero, marzo y abril en algunas estaciones ha hecho más calor que la media del periodo 2003/2022.

En las Cuencas hidrográficas del Tajo y del Duero, hay que tener especial cuidado en el mes de abril, ya que en este mes se presenta un mayor riesgo de heladas primaverales al obtenerse valores más altos en estos dos últimos años (2019/2020) en comparación con la media de todo el cómputo de datos de la serie.

#### 4.2 NECESIDADES DE CALOR DE LAS VARIEDADES DE ESTUDIO EN LAS CUENCAS SELECCIONADAS

En cuanto a las necesidades de calor para florecer, aunque tienen una menor incidencia en la capacidad de adaptación de una variedad, su conocimiento nos brinda mayores posibilidades en su manejo. Así, variedades con pocas necesidades de frío podrían ser cultivadas en áreas relativamente frías si tienen elevadas necesidades de calor para florecer (Citadin *et al.*, 2001).

Las necesidades de calor se determinan como el sumatorio de las temperaturas máximas y mínimas diarias desde el final del reposo invernal (estado fenológico B) hasta la plena floración (estado fenológico F).

Estos resultados han sido hallados a partir del exhaustivo seguimiento fenológico llevado a cabo por el CITA durante los años 2019 y 2020, y cuyas fechas de muestreo se muestran en la Tabla 21 y en el Anejo 2. En cada una de estas fechas se anotó el porcentaje visible en los diferentes estados fenológicos, teniendo en cuenta los estados fenológicos B y F para el cálculo de las necesidades de calor realizando posteriormente una correlación con las temperaturas durante este periodo obtenidas en el estudio climático.

**Tabla 21. Fechas de seguimiento para la floración.**

FECHAS DE SEGUIMIENTO AÑO 2019	FECHAS DE SEGUIMIENTO AÑO 2020
10F – 10 de febrero	10F – 10 de febrero
21F – 21 de febrero	21F – 21 de febrero
1M – 1 de marzo	25F – 25 de febrero
8M – 8 de marzo	6M – 6 de marzo
18M – 18 de marzo	10M – 10 de marzo
25M – 25 de marzo	19M – 19 de marzo
	26M – 26 de marzo
	2A – 2 de abril

En las siguientes tablas (Tabla 22 a Tabla 35) se detallan las necesidades de calor de cada variedad en función del patrón en la Cuenca hidrográfica del Ebro, resultados obtenidos con el método de Tabuenca (1975) y el método de Sakar (2023).

**AÑO 2019**

**Tabla 22. Necesidades de calor de la variedad 'D.Largueta'.**

VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>'D. LARGUETA'</b>	GARNEM®	70% 10F	90% 1M	359,92°C	89,96°C
	MONEGRO®	70% 10F	90% 1M	359,92°C	89,96°C
	GF-677	60% 10F	80% 1M	359,92°C	89,96°C
	GARRIGUES	50% 10F	95% 1M	359,92°C	89,96°C
	ROOTPAC® 20	40% 10F	100% 1M	359,92°C	89,96°C
	ROOTPAC® R	85% 10F	90% 1M	359,92°C	89,96°C
	MONTIZO	100% 10F	85% 1M	359,92°C	89,96°C
	CADAMAN	70% 10F	75% 1M	359,92°C	89,96°C

**Tabla 23. Necesidades de calor de la variedad 'Guara'.**

VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>'GUARA'</b>	GARNEM®	65% 25F	90% 9M	179,67°C	82,11°C
	MONEGRO®	80% 25F	70% 9M	179,67°C	82,11°C
	GF-677	85% 25F	70% 9M	179,67°C	82,11°C
	GARRIGUES	60% 25F	90% 9M	179,67°C	82,11°C
	ROOTPAC® 20	75% 25F	70% 9M	179,67°C	82,11°C
	ROOTPAC® R	90% 25F	65% 9M	179,67°C	82,11°C
	MONTIZO	100% 25F	60% 9M	179,67°C	82,11°C
	CADAMAN	100% 25F	60% 9M	179,67°C	82,11°C
VARIEDAD AUTOENRAIZADA		90% 25F	70% 9M	179,67°C	82,11°C

**Tabla 24. Necesidades de calor de la variedad Soleta®.**

VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>SOLETA®</b>	GARNEM®	20% 25F	80% 8M	178,33°C	80,01°C
	MONEGRO®	25% 25F	70% 8M	178,33°C	80,01°C
	GF-677	10% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C
	GARRIGUES	30% 25F	80% 8M	178,33°C	80,01°C
	ROOTPAC® 20	10% 25F	75% 8M	178,33°C	80,01°C
	ROOTPAC® R	40% 25F	80% 8M	178,33°C	80,01°C
	MONTIZO	40% 25F	80% 8M	178,33°C	80,01°C
	CADAMAN	20% 25F	80% 8M	178,33°C	80,01°C
VARIEDAD AUTOENRAIZADA		25% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C

**Tabla 25. Necesidades de calor de la variedad Isabelona®.**

VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>ISABELONA®</b>	GARNEM®	20% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C
	MONEGRO®	30% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C
	GF-677	30% 25F	85% 8M	178,33°C	80,01°C
	GARRIGUES	20% 25F	75% 8M	178,33°C	80,01°C
	ROOTPAC® 20	30% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C
	ROOTPAC® R	30% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C
	MONTIZO	15% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C
	CADAMAN	50% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C
VARIEDAD AUTOENRAIZADA		30% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C

**Tabla 26. Necesidades de calor de la variedad Felama®.**

VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>FELAMA®</b>	GARNEM®	35% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C
	MONEGRO®	70% 25F	100% 8M	178,33°C	80,01°C
	GF-677	20% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C
	GARRIGUES	25% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C
	ROOTPAC® 20	30% 25F	85% 8M	178,33°C	80,01°C
	ROOTPAC® R	55% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C
	MONTIZO	60% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C
	CADAMAN	55% 25F	90% 8M	178,33°C	80,01°C

**Tabla 27. Necesidades de calor de la variedad Vialfas®.**

VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>VIALFAS®</b>	GARNEM®	20% 15M	85% 25M	171,43°C	73,66°C
	MONEGRO®	20% 15M	90% 25M	171,43°C	73,66°C
	GF-677	20% 15M	90% 25M	171,43°C	73,66°C
	GARRIGUES	20% 15M	90% 25M	171,43°C	73,66°C
	ROOTPAC® 20	10% 15M	80% 25M	171,43°C	73,66°C
	ROOTPAC® R	10% 15M	80% 25M	171,43°C	73,66°C
	MONTIZO	10% 15M	80% 25M	171,43°C	73,66°C
	CADAMAN	10% 15M	80% 25M	171,43°C	73,66°C

**Tabla 28. Necesidades de calor de la variedad Diamar®.**

VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>DIAMAR®</b>	GARNEM®	95% 16M	35% 30M	171,43°C	108,11°C
	MONEGRO®	100% 16M	45% 30M	171,43°C	108,11°C
	GF-677	75% 16M	80% 30M	171,43°C	108,11°C
	GARRIGUES	70% 13M	100% 30M	171,43°C	150,07°C
	ROOTPAC® 20	80% 13M	100% 30M	171,43°C	150,07°C
	ROOTPAC® R	90% 16M	55% 30M	171,43°C	108,11°C
	MONTIZO	90% 13M	95% 30M	171,43°C	150,07°C
	CADAMAN	70% 16M	80% 30M	171,43°C	108,11°C

**AÑO 2020**

**Tabla 29. Necesidades de calor de la variedad ‘D.Largueta’.**

VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>‘D. LARGUETA’</b>	GARNEM®	70% 10F	90% 1M	444,27°C	127,64°C
	MONEGRO®	70% 10F	90% 1M	444,27°C	127,64°C
	GF-677	60% 10F	80% 1M	444,27°C	127,64°C
	GARRIGUES	50% 10F	95% 1M	444,27°C	127,64°C
	ROOTPAC® 20	40% 10F	100% 1M	444,27°C	127,64°C
	ROOTPAC® R	85% 10F	90% 1M	444,27°C	127,64°C
	MONTIZO	100% 10F	85% 1M	444,27°C	127,64°C
	CADAMAN	70% 10F	75% 1M	444,27°C	127,64°C

**Tabla 30. Necesidades de calor de la variedad ‘Guara’.**

VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>‘GUARA’</b>	GARNEM®	65% 25F	90% 9M	173,57°C	82,31°C
	MONEGRO®	80% 25F	70% 9M	173,57°C	82,31°C
	GF-677	85% 25F	70% 9M	173,57°C	82,31°C
	GARRIGUES	60% 25F	90% 9M	173,57°C	82,31°C
	ROOTPAC® 20	75% 25F	70% 9M	173,57°C	82,31°C
	ROOTPAC® R	90% 25F	65% 9M	173,57°C	82,31°C
	MONTIZO	100% 25F	60% 9M	173,57°C	82,31°C
	CADAMAN	100% 25F	60% 9M	173,57°C	82,31°C
VARIEDAD AUTOENRAIZADA		90% 25F	70% 9M	173,57°C	82,31°C

**Tabla 31. Necesidades de calor de la variedad Soleta®.**

VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>SOLETA®</b>	GARNEM®	20% 25F	80% 8M	170,77°C	81,86°C
	MONEGRO®	25% 25F	70% 8M	170,77°C	81,86°C
	GF-677	10% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C
	GARRIGUES	30% 25F	80% 8M	170,77°C	81,86°C
	ROOTPAC® 20	10% 25F	75% 8M	170,77°C	81,86°C
	ROOTPAC® R	40% 25F	80% 8M	170,77°C	81,86°C
	MONTIZO	40% 25F	80% 8M	170,77°C	81,86°C
	CADAMAN	20% 25F	80% 8M	170,77°C	81,86°C
VARIEDAD AUTOENRAIZADA		25% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C

**Tabla 32. Necesidades de calor de la variedad Isabelona®.**

VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>ISABELONA®</b>	GARNEM®	20% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C
	MONEGRO®	30% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C
	GF-677	30% 25F	85% 8M	170,77°C	81,86°C
	GARRIGUES	20% 25F	75% 8M	170,77°C	81,86°C
	ROOTPAC® 20	30% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C
	ROOTPAC® R	30% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C
	MONTIZO	15% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C
	CADAMAN	50% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C
VARIEDAD AUTOENRAIZADA		30% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C

**Tabla 33. Necesidades de calor de la variedad Felama®.**

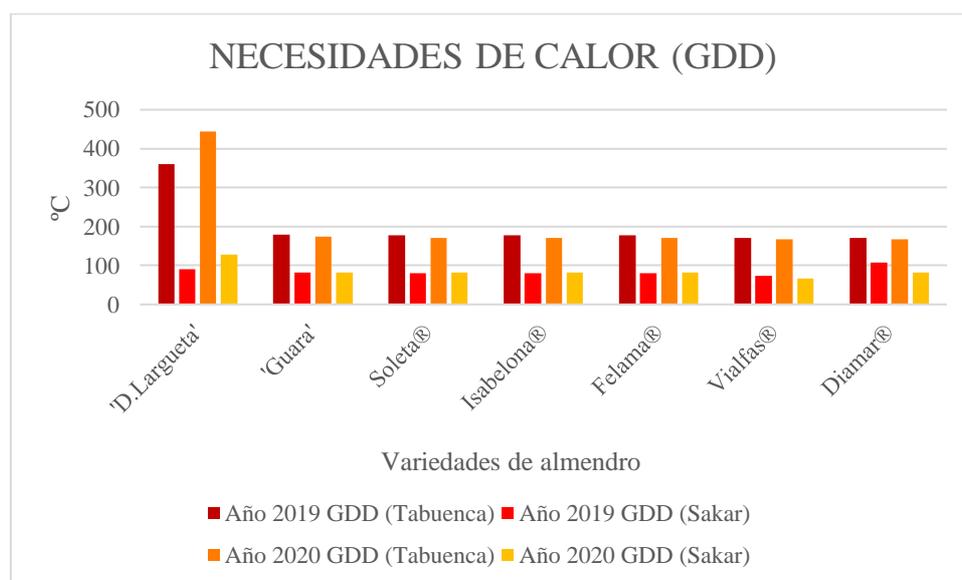
VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>FELAMA®</b>	GARNEM®	35% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C
	MONEGRO®	70% 25F	100% 8M	170,77°C	81,86°C
	GF-677	20% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C
	GARRIGUES	25% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C
	ROOTPAC® 20	30% 25F	85% 8M	170,77°C	81,86°C
	ROOTPAC® R	55% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C
	MONTIZO	60% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C
	CADAMAN	55% 25F	90% 8M	170,77°C	81,86°C

**Tabla 34. Necesidades de calor de la variedad Vialfas®.**

VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>VIALFAS®</b>	GARNEM®	20% 15M	85% 25M	167,26°C	66,13°C
	MONEGRO®	20% 15M	90% 25M	167,26°C	66,13°C
	GF-677	20% 15M	90% 25M	167,26°C	66,13°C
	GARRIGUES	20% 15M	90% 25M	167,26°C	66,13°C
	ROOTPAC® 20	10% 15M	80% 25M	167,26°C	66,13°C
	ROOTPAC® R	10% 15M	80% 25M	167,26°C	66,13°C
	MONTIZO	10% 15M	80% 25M	167,26°C	66,13°C
	CADAMAN	10% 15M	80% 25M	167,26°C	66,13°C

**Tabla 35. Necesidades de calor de la variedad Diamar®.**

VARIEDAD	PATRONES	E.F (B)	E.F (F)	GDD TABUENCA	GDD SAKAR
<b>DIAMAR®</b>	GARNEM®	95% 16M	35% 30M	167,26°C	82,39°C
	MONEGRO®	100% 16M	45% 30M	167,26°C	82,39°C
	GF-677	75% 16M	80% 30M	167,26°C	82,39°C
	GARRIGUES	70% 13M	100% 30M	167,26°C	147,30°C
	ROOTPAC® 20	80% 13M	100% 30M	167,26°C	147,30°C
	ROOTPAC® R	90% 16M	55% 30M	167,26°C	82,39°C
	MONTIZO	90% 13M	95% 30M	167,26°C	147,30°C
	CADAMAN	70% 16M	80% 30M	167,26°C	82,39°C



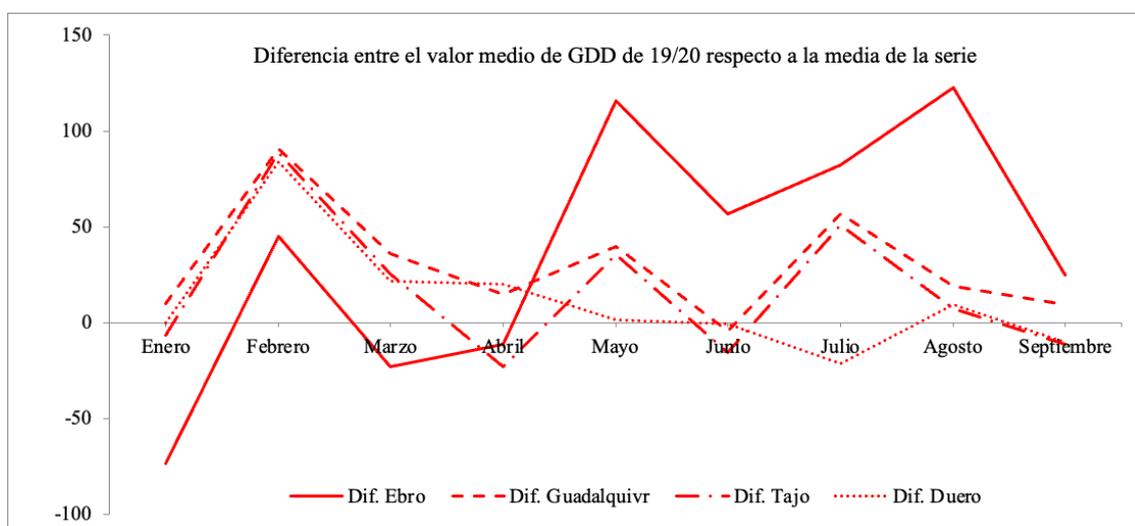
**Figura 11. Necesidades de calor de las variedades de almendro estudiadas.**

Los estudios realizados revelan que la influencia del año y la localización es frecuentemente notable en los resultados obtenidos al calcular las necesidades de frío y de calor (Freitas, 2023).

En la Figura 11 se representan las necesidades de calor de cada variedad calculadas por ambos métodos (Tabuenca (1975) y Sakar (2023)) en los dos años de estudio (2019 y 2020).

La variedad ‘D.Largueta’ es con diferencia la variedad de estudio que más grados acumula, sobrepasando los 400°C según el método de Tabuenca (1975) en el año 2020. El resto de las variedades se pueden agrupar en el mismo rango, no llegando a acumular los 200°C en ningún caso.

En las estaciones en las que no se tienen valores de seguimiento fenológico, la fase de acumulación de calor (forzamiento) posterior a la fase de enfriamiento, se ha estimado en el periodo comprendido entre el 1 de enero al 30 de septiembre, de acuerdo con el modelo GDH (Figura 12).



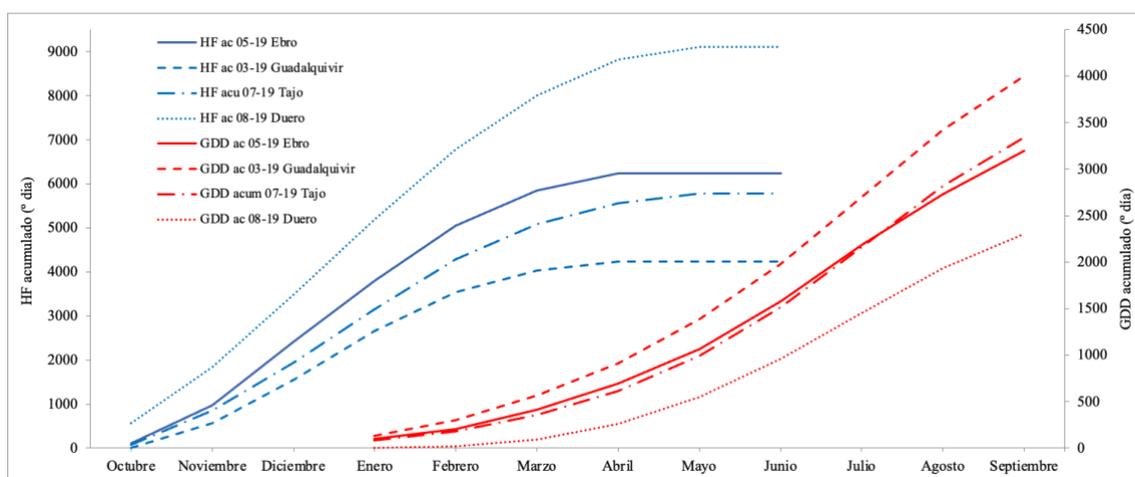
**Figura 12. Diferencia entre el valor medio de GDD de 2019/2020 respecto a la media de la serie en las Cuencas hidrográficas estudiadas.**

Durante estos meses, en todas las Cuencas de estudio, los valores obtenidos en los años 2019/2020 son muy superiores a los obtenidos en la media del periodo 2003/2022. Es decir, se aprecia un incremento notable de temperatura, siendo la Cuenca hidrográfica del Ebro la que experimenta un mayor calentamiento (acumulación de GDD) mensual a partir del mes de abril.

### 4.3 EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FRÍO Y CALOR PARA LA FLORACIÓN DEL ALMENDRO

Para evaluar las diferencias entre las cuatro Cuencas objeto de estudio, se ha realizado una representación de los requerimientos climáticos (Figura 13) para el desarrollo del almendro, considerando el enfriamiento según la correlación de Weimberger (HF) y las necesidades de calor calculadas de acuerdo con los modelos de grados día de crecimiento de Sakar (GDD).

Como se ha comentado anteriormente se ha estimado que la fase de enfriamiento está comprendida entre los meses de octubre y mayo, y que la acumulación de calor se produce entre los meses de enero a septiembre.



**Figura 13. Acumulación de frío (HF) y de calor (GDD) a lo largo del ciclo anual del almendro en las Cuencas hidrográficas estudiadas.**

Para la brotación (salida de la endodormancia) se observa que la cuenca que presenta una mayor acumulación de HF es la Cuenca del Duero y que la cuenca con un menor número de HF acumuladas es la Cuenca del Guadalquivir.

Para la floración, la acumulación de calor es más elevada en la Cuenca del Guadalquivir, la Cuenca del Ebro es muy similar a la Cuenca del Tajo, semejanza también presente, aunque en menor medida, en la acumulación de frío.

Sin embargo, la Cuenca del Duero también es la cuenca en la que la acumulación de calor es más lenta, por lo tanto aunque se acumule el frío necesario para la brotación (variedades tempranas) la acumulación de calor no es suficiente para que estas variedades florezcan.

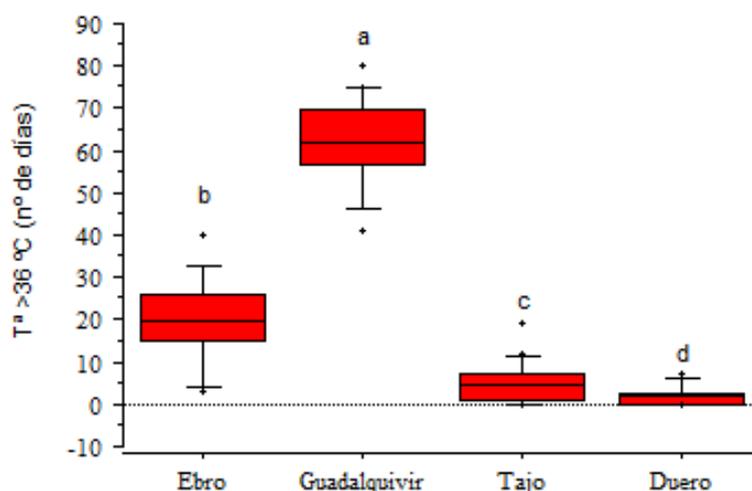
Así, en las variedades de floración temprana, en las Cuencas del Guadalquivir, Ebro y Tajo los requerimientos de calor para la floración se alcanzan en enero, mientras que en el Duero no se alcanzan hasta mediados de febrero.

En las variedades de floración media, en el Guadalquivir y en el Ebro ya se alcanzan en enero, a principios de febrero en el Tajo y a finales de febrero en el Duero.

Para las variedades de floración tardía aumentan las diferencias, en el Guadalquivir a principios de enero, en el Ebro en la primera quincena de enero, en el Tajo la segunda quincena de enero y en el Duero la primera quincena de marzo.

#### 4.4 ALTAS TEMPERATURAS ESTIVALES

Analizando las diferentes estaciones meteorológicas según el número de días en los que se registran temperaturas  $\geq 36^{\circ}\text{C}$ , (Figura 14), se observa que la cuenca del Guadalquivir es la zona geográfica que presenta un mayor riesgo de parada estival vegetativa que pueden causar desequilibrios en la maduración, aumento de las condiciones de estrés o perturbaciones en la producción de frutos (Fraga y Santos, 2021; Lorite *et al.*, 2020).



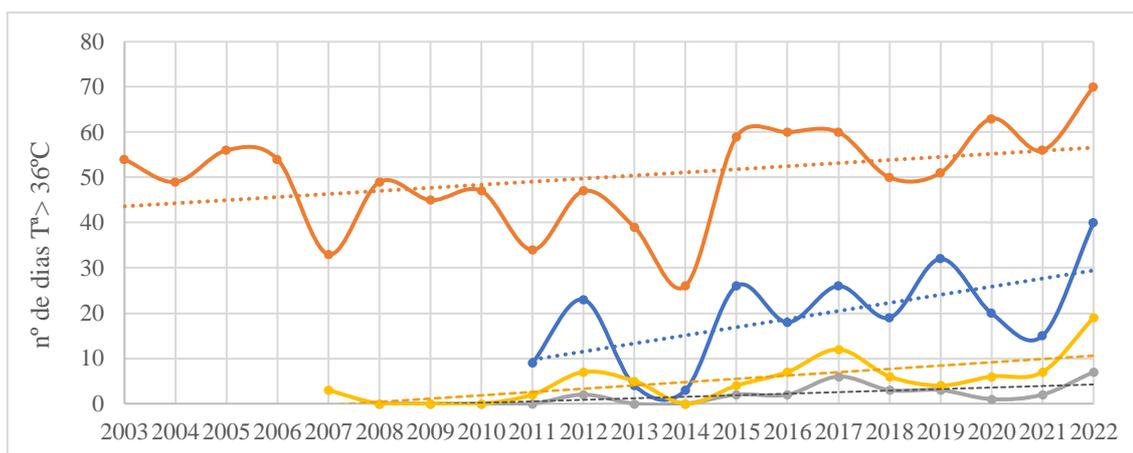
**Figura 14. Diagrama de cajas del número de días con temperaturas superiores a  $36^{\circ}\text{C}$  por Cuenca hidrográfica representando las mínimas, medias, máximas y valores atípicos. Letras diferentes indican diferencias significativas en el valor medio de este parámetro según la localidad ( $p < 0,05$ ).**

Analizando la evolución temporal de los registros térmicos superiores a  $36^{\circ}\text{C}$ , también se observan diferencias entre las cuencas estudiadas (Figura 15).

La serie más corta de datos corresponde a la Cuenca del Ebro (azul) y la más larga a la Cuenca del Guadalquivir (naranja), seguida de la Cuenca del Tajo (amarillo) y de la Cuenca del Duero (gris).

Existe una tendencia ascendente y significativa en los datos climáticos de las estaciones que caracterizan las Cuencas del Guadalquivir ( $p=0,07$ ), Tajo ( $p=0,0046$ ) y Duero ( $p=0,0048$ ) mientras que esta tendencia no existe en los datos climáticos de la Cuenca del Ebro ( $p=0,13$ ).

Por lo tanto, se puede decir que en los últimos 15 a 19 años se observa un incremento significativo del número de días con temperaturas iguales o superiores a los  $36^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 15. Número de días con  $T^a > 36^{\circ}\text{C}$  en las Cuencas hidrográficas de estudio.**

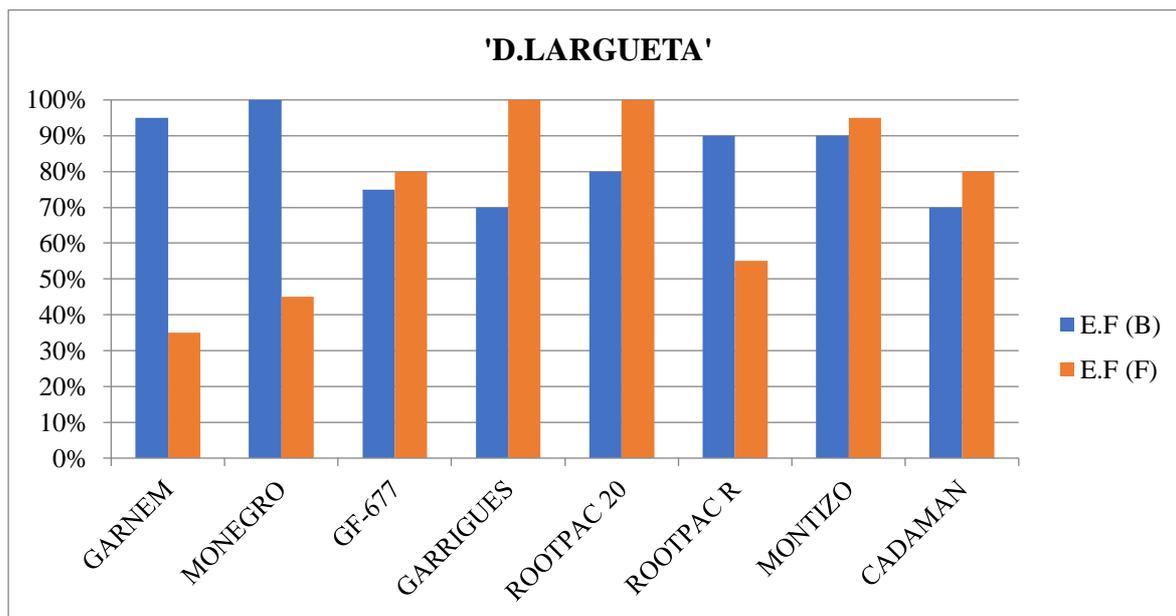
**-Cuenca del Ebro (azul), Cuenca del Guadalquivir (naranja),  
Cuenca del Tajo (amarillo), Cuenca del Duero (gris)-**

#### **4.5 INFLUENCIA DE LOS PATRONES EN LA FENOLOGÍA DE LAS VARIEDADES DE ALMENDRO**

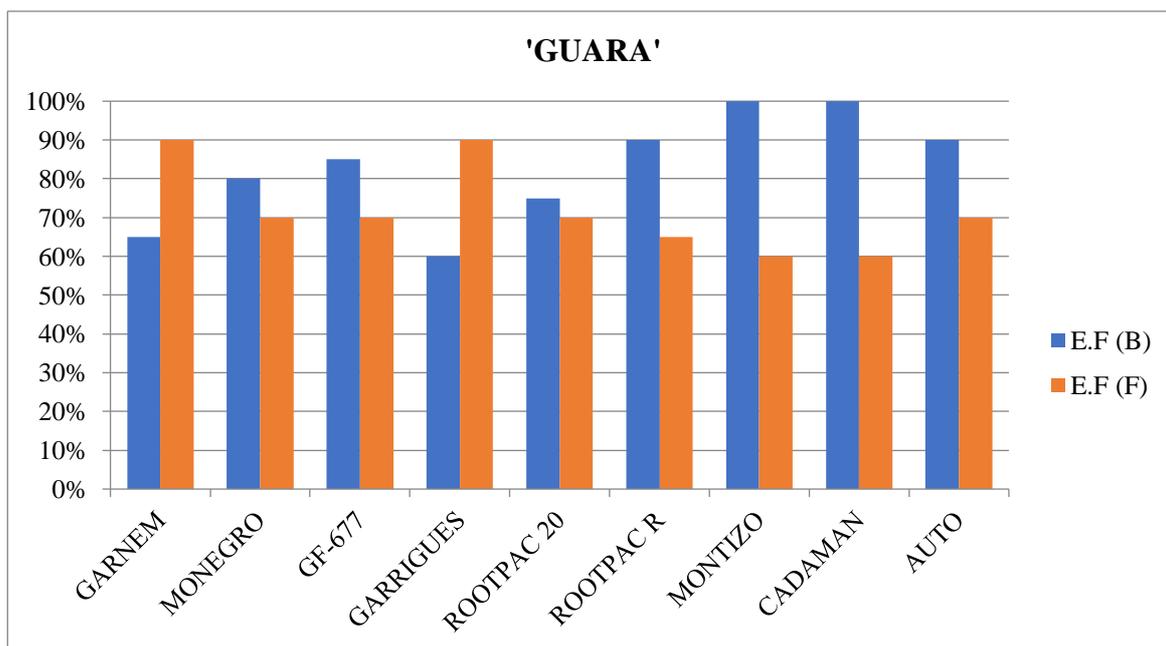
En el cálculo de las necesidades de calor, se ponen de manifiesto discrepancias en los valores absolutos de dicho parámetro (es según el método de cálculo utilizado (Tabuenca y Sakar) sin embargo, con ambos métodos, se observa que en las condiciones de campo del Valle medio del Ebro, las variedades de almendro estudiadas pueden dividirse en tres grandes grupos según los requerimientos de grados-día calor (GDD) para romper la ecolatencia y llegar a plena floración.

- Floración temprana: 400 GDD (Tabuenca) y 120 GDD (Sakar)
- Floración media: 180 GDD (Tabuenca) y 80 GDD (Sakar)
- Floración tardía: 160 GDD (Tabuenca) y 70 GDD (Sakar)

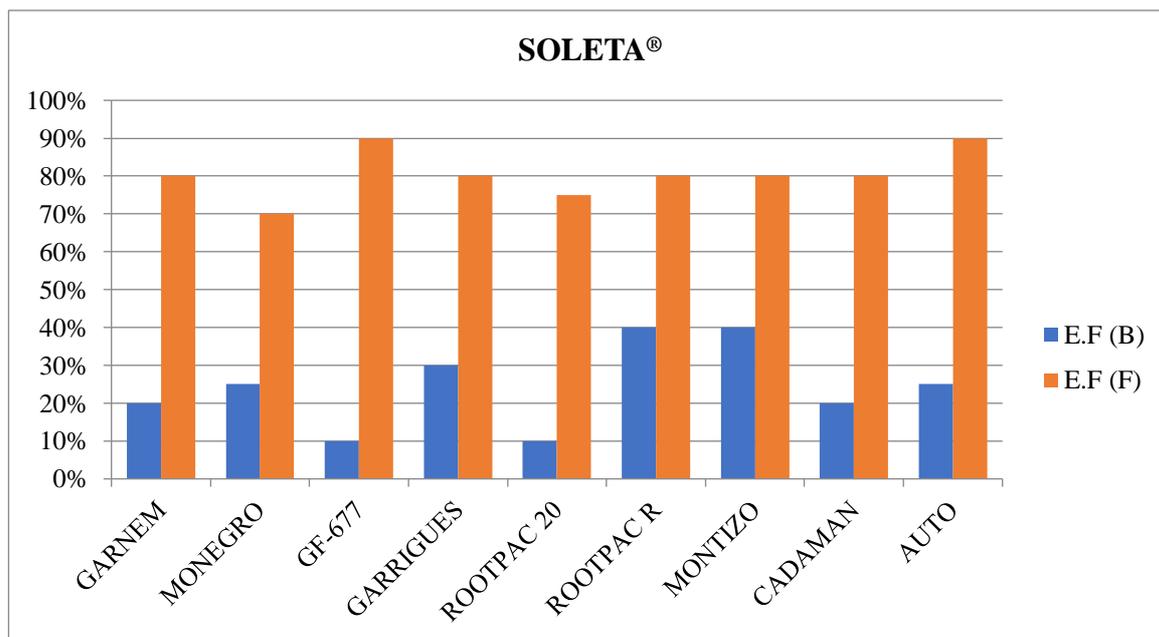
A continuación, se representa el porcentaje medio de flores en los años 2019 y 2020 en el estadio fenológico de botón hinchado (B) (azul) y floración completa (F) (naranja) de las diferentes variedades, según el patrón sobre el que están injertadas.



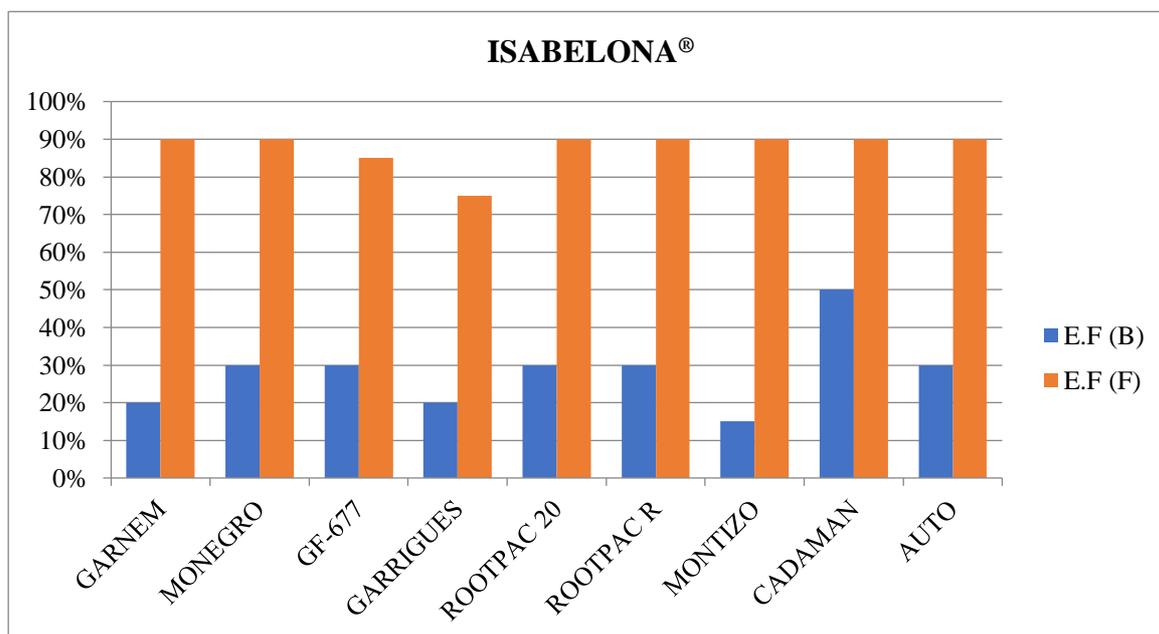
**Figura 16. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad 'D.Largueta'.**  
-Estado Fenológico (B) (azul) y Estado Fenológico (F) (naranja)-



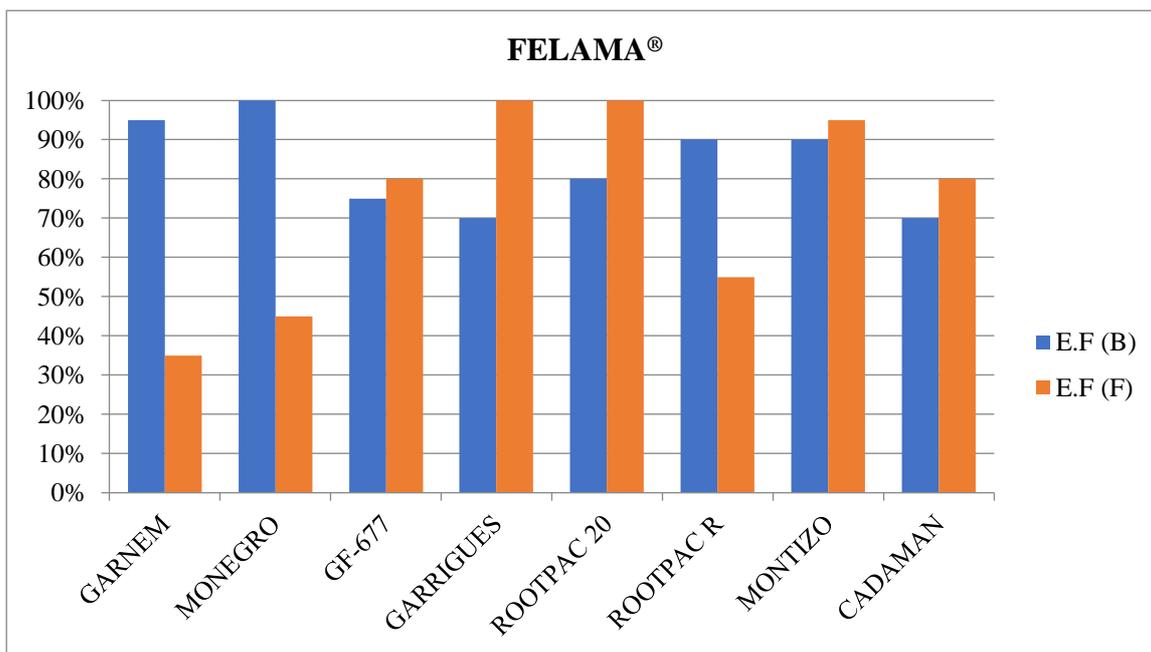
**Figura 17. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad 'Guara'.**  
-Estado Fenológico (B) (azul) y Estado Fenológico (F) (naranja)-



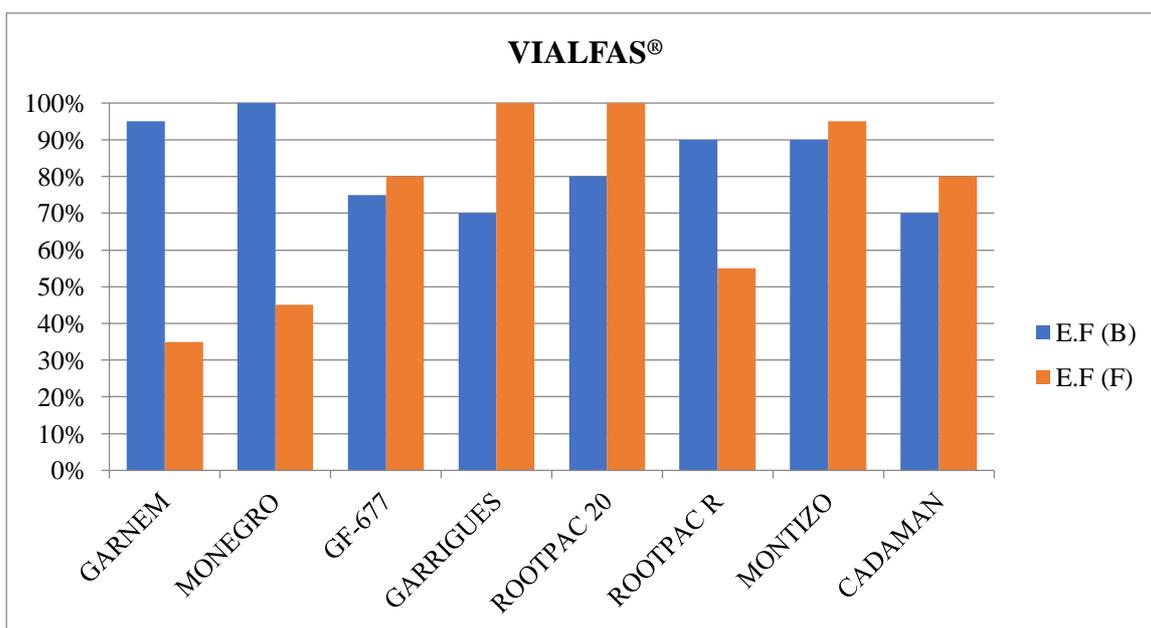
**Figura 18. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad Soleta®.**  
-Estado Fenológico (B) (azul) y Estado Fenológico (F) (naranja)-



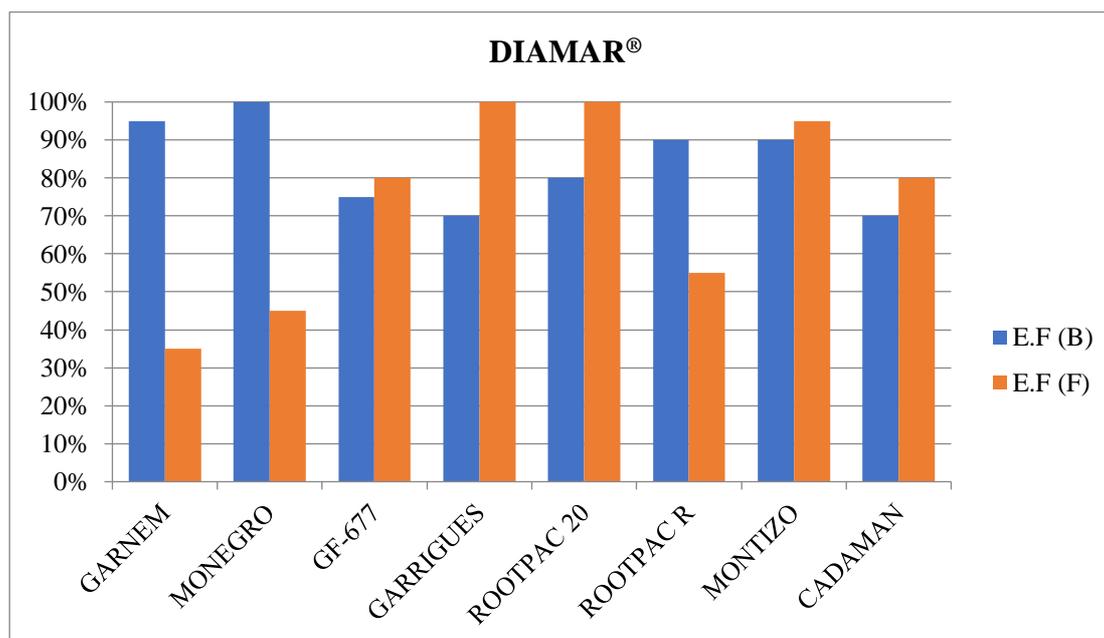
**Figura 19. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad Isabelona®.**  
-Estado Fenológico (B) (azul) y Estado Fenológico (F) (naranja)-



**Figura 20. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad Felama®.**  
-Estado Fenológico (B) (azul) y Estado Fenológico (F) (naranja)-



**Figura 21. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad Vialfas®.**  
-Estado Fenológico (B) (azul) y Estado Fenológico (F) (naranja)-



**Figura 22. Porcentaje de cada estadio según el patrón en la variedad Diamar®.**  
-Estado Fenológico (B) (azul) y Estado Fenológico (F) (naranja)-

En todas las variedades estudiadas, representando el % de cada estadio, el pie no tiene un efecto significativo en el requerimiento de los grados-día calor, sin embargo, en los dos años de seguimiento fenológico, en la variedad Diamar® (Figura 22) se observa que el patrón Garrigues adelanta 10 días la fecha del estadio fenológico de botón hinchado (B) respecto a los otros patrones utilizados.

Llama la atención que las variedades Soleta® (Figura 18), Isabelona® (Figura 19) y Felama® (Figura 20) tienen un porcentaje muy bajo en el estadio botón hinchado (B), mientras que en la variedad ‘Guara’ (Figura 17) el patrón Montizo y Cadaman tienen un 100% en este estadio, pero en cambio el estadio de floración completa (F) es muy elevado en estas tres primeras variedades y menor en ‘Guara’.

#### **4.6 COMPORTAMIENTO DE LAS VARIEDADES DE ALMENDRO ESTUDIADAS EN FUNCIÓN DE LOS PATRONES Y DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE ESTUDIO**

A continuación se evalúa el comportamiento agronómico de las variedades de estudio en las diferentes Cuencas hidrográficas seleccionadas con el objetivo de mejorar la toma de decisiones de los productores en cuanto a la elección varietal en el momento de la plantación.

La evaluación se ha llevado a cabo representando las fechas medias anuales de los años 2019 y 2020 en el periodo comprendido desde el estado fenológico B (botón hinchado), teniendo en cuenta la plena floración (F50) hasta el estado fenológico F (flor abierta). Además, en estos

gráficos (desde la Figura 23 hasta la Figura 50) se muestra por días la incidencia que tuvieron las heladas (líneas verticales en color azul) y las temperaturas superiores a 36°C (líneas verticales de color rojo) durante este periodo de estudio.

Estos periodos relativamente largos se han ajustado a las necesidades térmicas de las variedades y patrones estudiados y se han hallado para cada conjunto de datos climáticos.

Las variedades tradicionales de almendro presentan unas características notables en cuanto a calidad, pero también tienen aspectos negativos que limitan la rentabilidad y expansión del cultivo, como es la floración temprana que las hace más susceptibles a las heladas.

Las heladas primaverales pueden afectar significativamente a la producción de almendra, especialmente en regiones frías donde pueden suponer un riesgo de entre el 30 y el 40% de la floración en variedades tempranas ya que las flores están en fase de desarrollo (Freitas, 2023).

Por ello, en las últimas décadas se está investigando acerca de otras variedades que reúnen un conjunto de características agronómicas y comerciales destacables en relación con las variedades tradicionales.

Teniendo en cuenta las grandes diferencias varietales respecto a la fecha de floración del almendro, en zonas con riesgo de heladas como es la Cuenca hidrográfica del Ebro y del Duero, habrá que poner especial cuidado en escoger variedades de floración tardía, que presentan buena adaptabilidad a diferentes condiciones climatológicas y mayor resistencia a este evento climático. Por el contrario, en zonas más cálidas como la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir y del Tajo, las variedades tardías pueden tener pérdidas de rendimiento asociadas con la mayor acumulación de horas calor y periodos de olas de calor que puedan darse y las variedades tempranas deberían verse menos afectadas por este factor.

Desde la Figura 23 hasta la Figura 50 se representa la época media de floración (F) de las variedades de almendro en el periodo 2019/2020 en el Valle medio del Ebro, según el porcentaje de flores abiertas al inicio de la floración (5%F), en plena floración (50%F) y a final de la floración (95% F).



### 1. Cuenca hidrográfica del Ebro: Estación meteorológica de Zuera (Aragón).

Se puede observar que la variedad más temprana a alcanzar la plena floración (50%F) es la variedad 'D. Langueta' seguida del grupo formado por 'Guara', Soleta®, Isabelona® y Felama®; y las más tardías son Vialfas® y Diamar®. A su vez, se puede observar también que la presencia del número de días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul) va a suponer un inconveniente para la elección del material vegetal del almendro en esta Cuenca hidrográfica, debido al gran riesgo de heladas durante el periodo de floración de estas variedades.

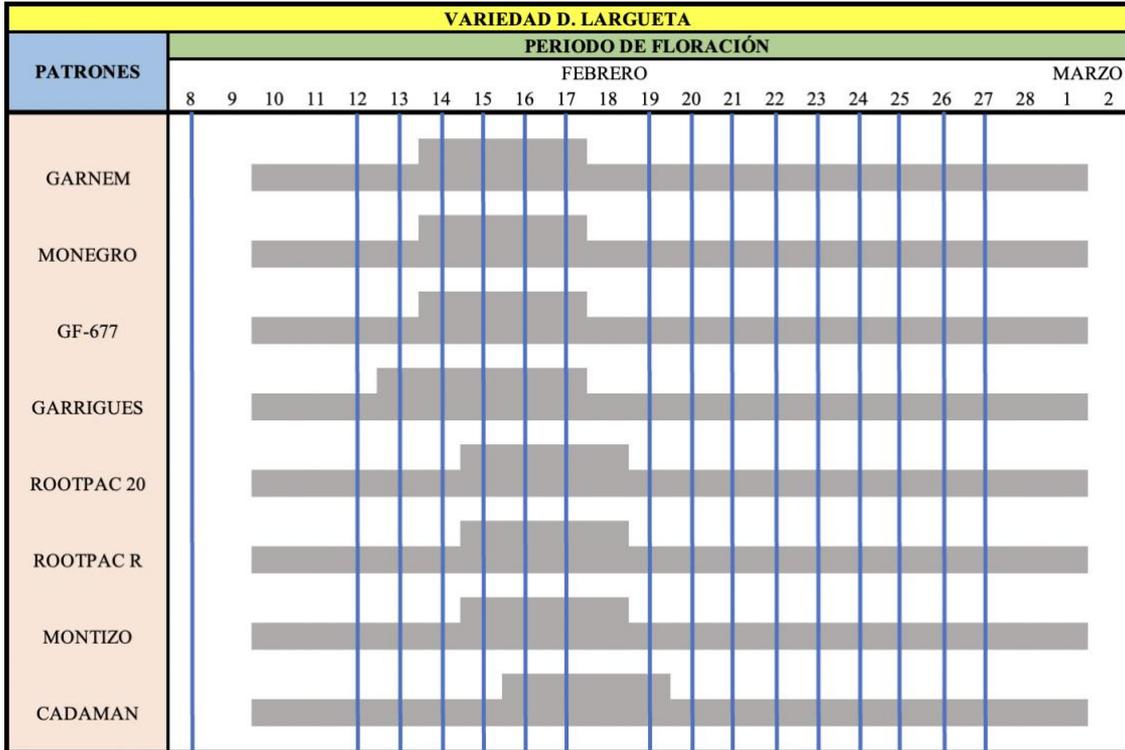


Figura 23. Comportamiento fenológico de la variedad 'D.Largueta' y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul)-

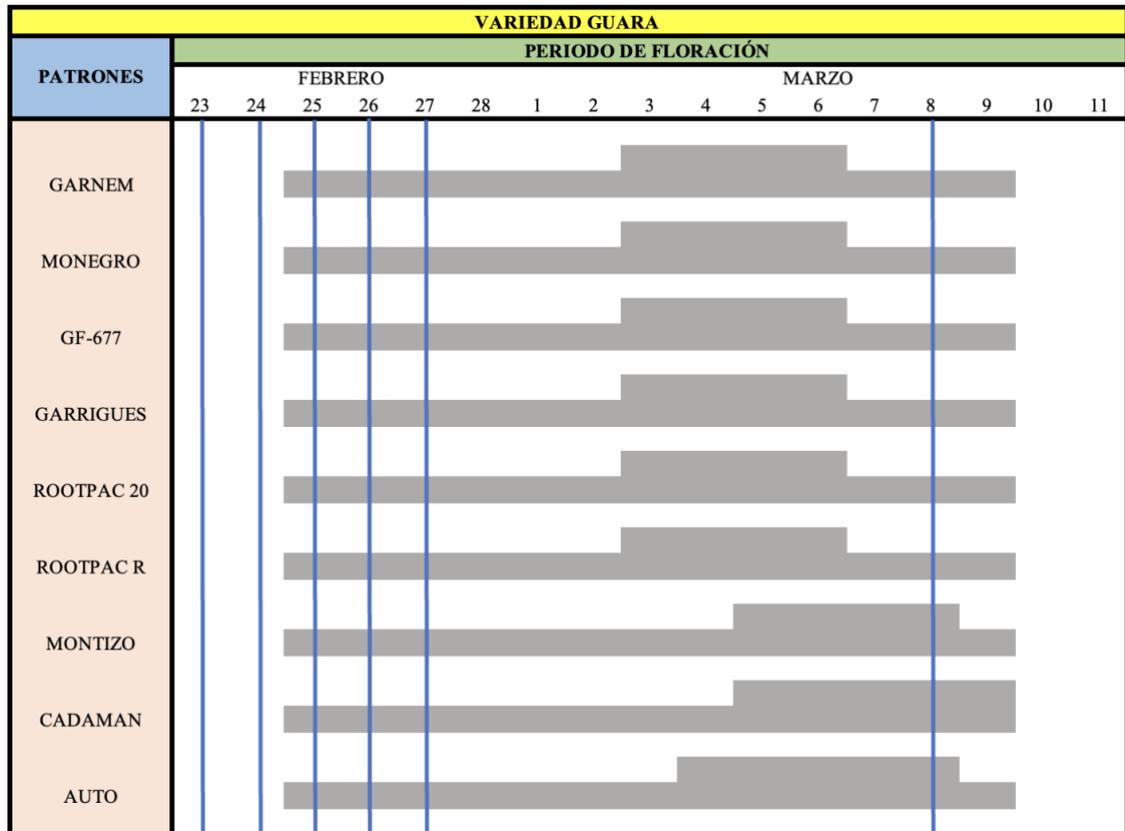


Figura 24. Comportamiento fenológico de la variedad 'Guara' y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul)-

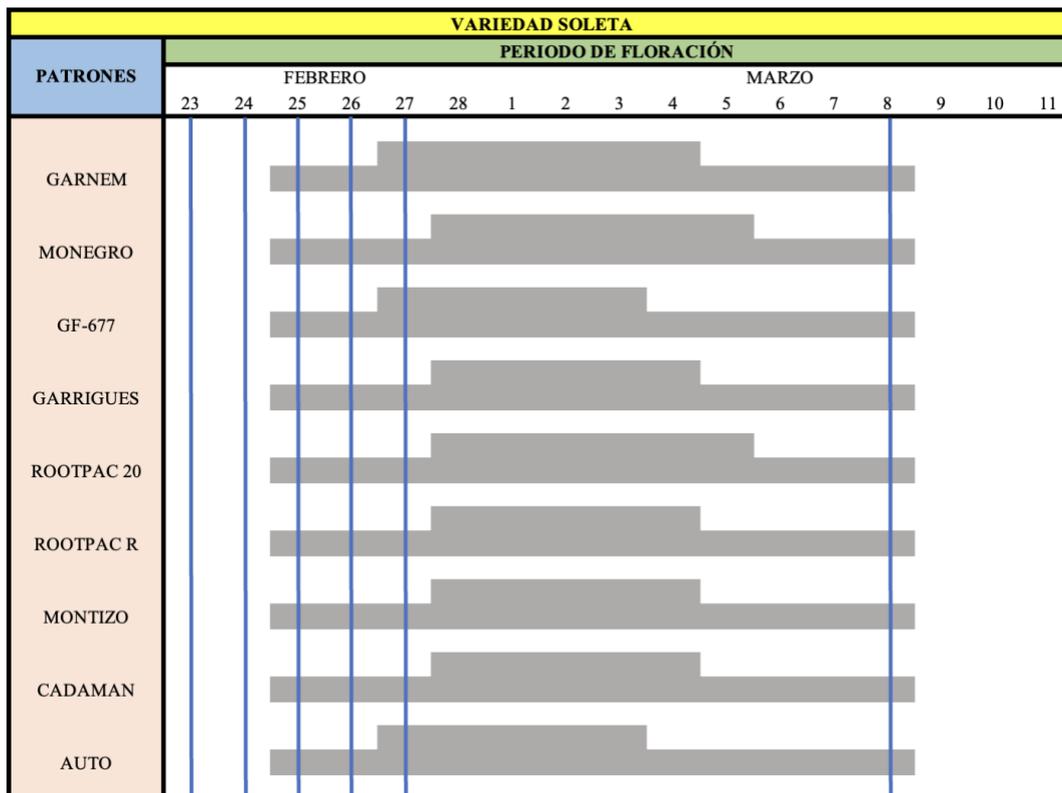


Figura 25. Comportamiento fenológico de la variedad Soleta® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración.

-Días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul)-

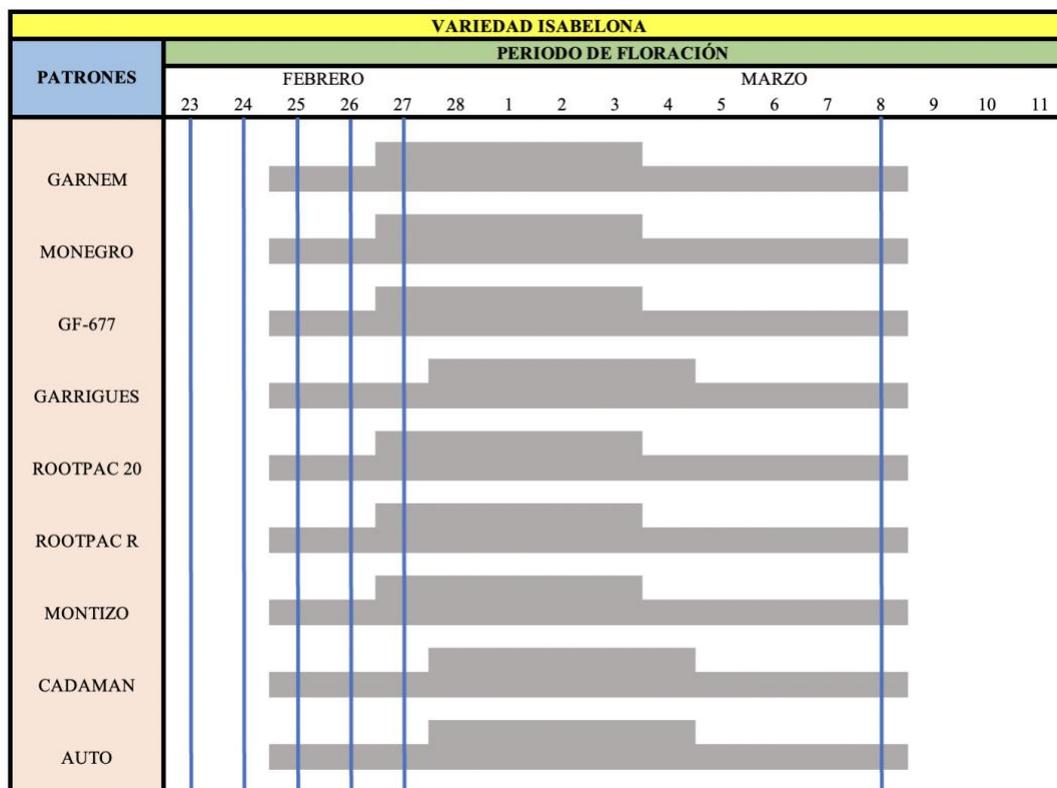


Figura 26. Comportamiento fenológico de la variedad Isabelona® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración.

-Días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul)-

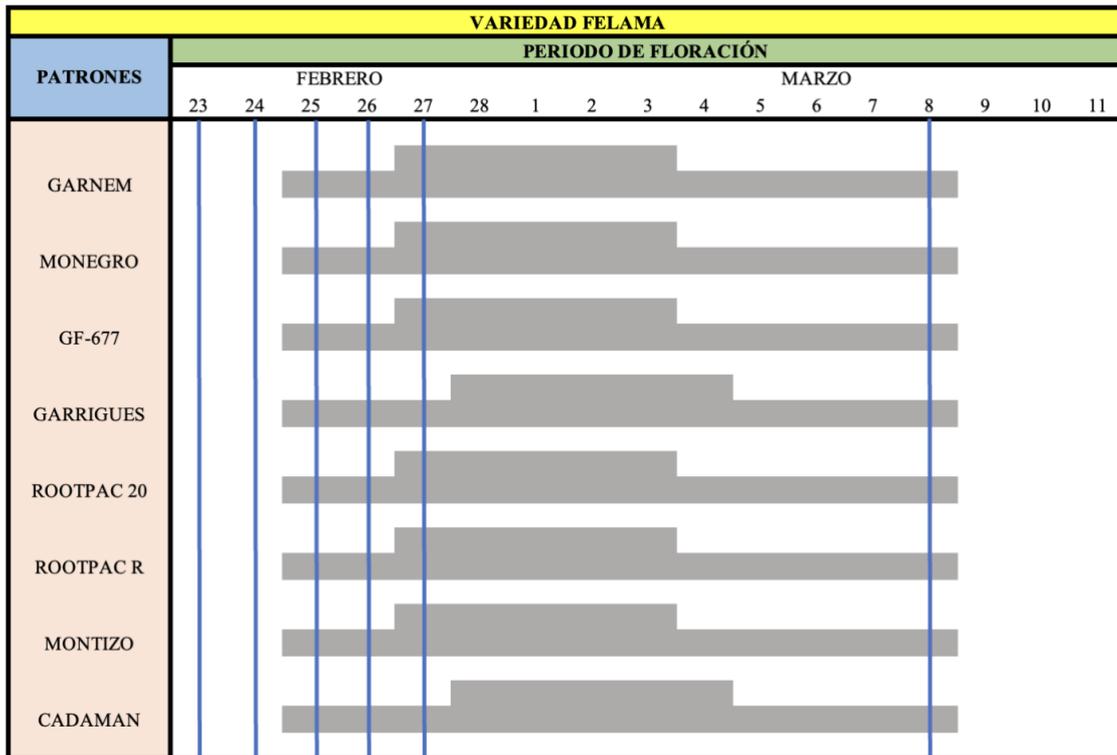


Figura 27. Comportamiento fenológico de la variedad Felama® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración.  
-Días con T<sup>a</sup> < 0°C (líneas verticales en color azul)-

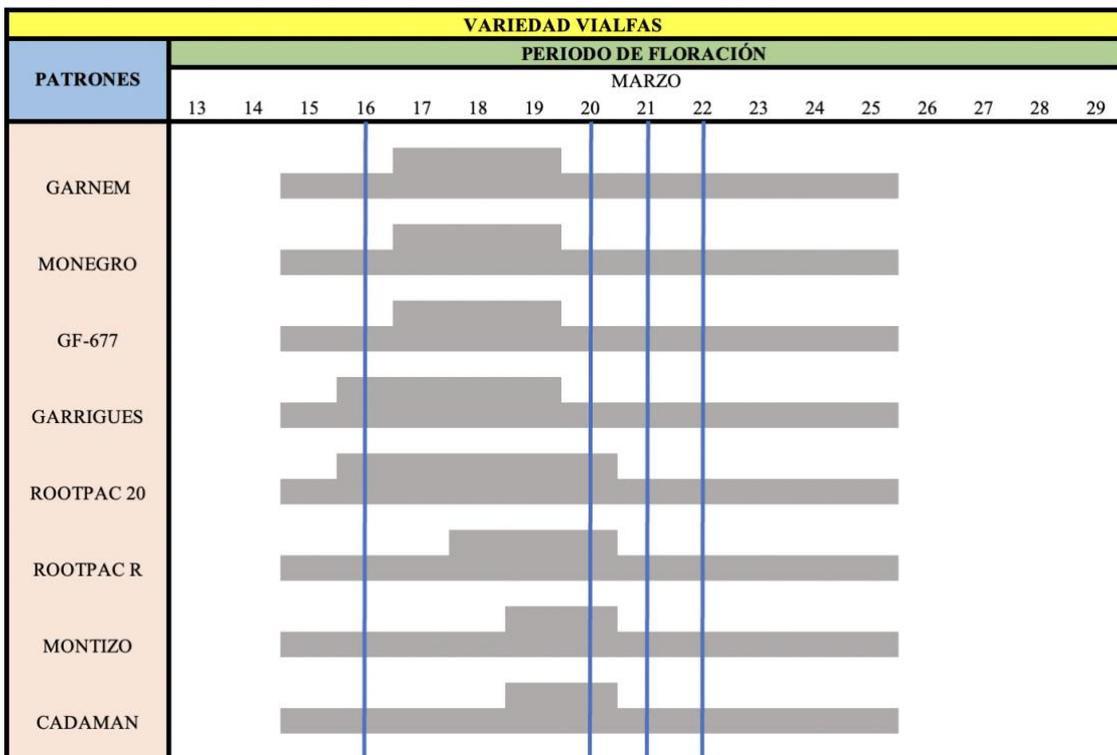
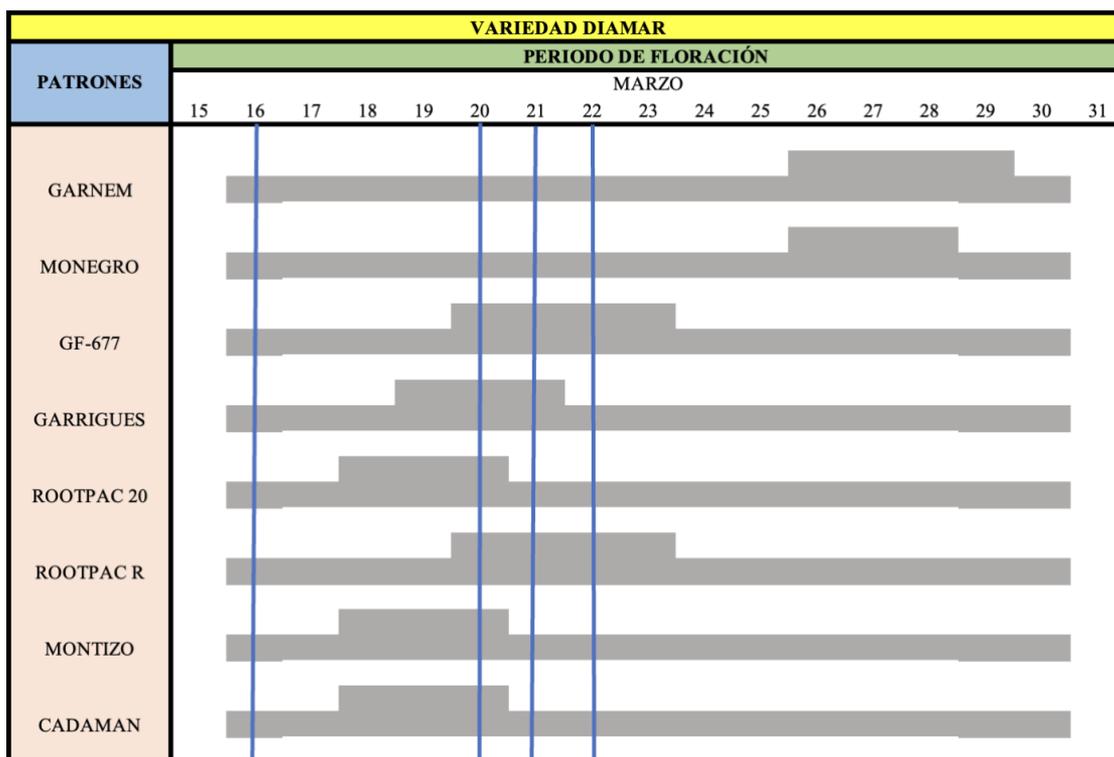


Figura 28. Comportamiento fenológico de la variedad Vialfas® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración.  
-Días con T<sup>a</sup> < 0°C (líneas verticales en color azul)-



**Figura 29. Comportamiento fenológico de la variedad Diamar® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Ebro durante el periodo de floración.**  
-Días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul)-

Teniendo en cuenta el comportamiento de estas variedades y las condiciones climáticas en la Cuenca del Ebro se puede decir que:

- La variedad más temprana ‘D.Largueta’ es la menos recomendada para esta zona puesto que el número de días en las que se producen heladas en esta Cuenca afecta en un porcentaje de casi el 100% en el periodo F50 de la floración de esta variedad (aunque en menor medida cuando intervienen los patrones Rootpac®20, Rootpac®R, Montizo y Cadaman.
- Durante el periodo de floración de las variedades ‘Guara’, Soleta®, Isabelona® y Felama®, siguen dándose heladas frecuentemente, pero en este caso, no afectando tanto en el F50 si no a lo largo de todo el periodo de floración. Así pues, las variedades que salvan el periodo F50 de estas heladas son:
  - ‘Guara’ injertada sobre los patrones Garnem®, Monegro®, GF-677, Garrigues, Rootpac® 20 y Rootpac® R.
  - Soleta® injertada sobre los patrones Monegro®, Garrigues, Rootpac®20 y Rootpac®R, Montizo y Cadaman.
  - Isabelona® injertada sobre los patrones Garrigues, Cadaman y cuando se utiliza material vegetal autoenraizado (AUTO).
  - Felama® injertada sobre los patrones Garrigues y Cadaman.

- En la variedad Vialfas<sup>®</sup>, los patrones Garnem<sup>®</sup>, Monegro<sup>®</sup> y GF-667, retrasan un poco el periodo de floración y también lo acortan, quedando el periodo F50 sin riesgo de heladas tardías.
- En la variedad Diamar<sup>®</sup> son los patrones Garnem<sup>®</sup> y Monegro<sup>®</sup> los que retrasan el periodo de floración a finales del mes de marzo quedando el periodo F50 sin riesgo de heladas tardías.

## 2. Cuenca hidrográfica del Guadalquivir: Estación meteorológica de Córdoba (Andalucía).

En las condiciones climáticas de la Cuenca del Guadalquivir se observa que, puesto que no hay riesgo de heladas (según la media en el periodo de floración de los años 2019/2020, en Córdoba se producen dos heladas previas al periodo de floración en los días 3 y 4 de febrero), y que únicamente se dan ocasionalmente días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo), se trata de una zona apta para el cultivo del almendro en la mayoría de las variedades estudiadas.

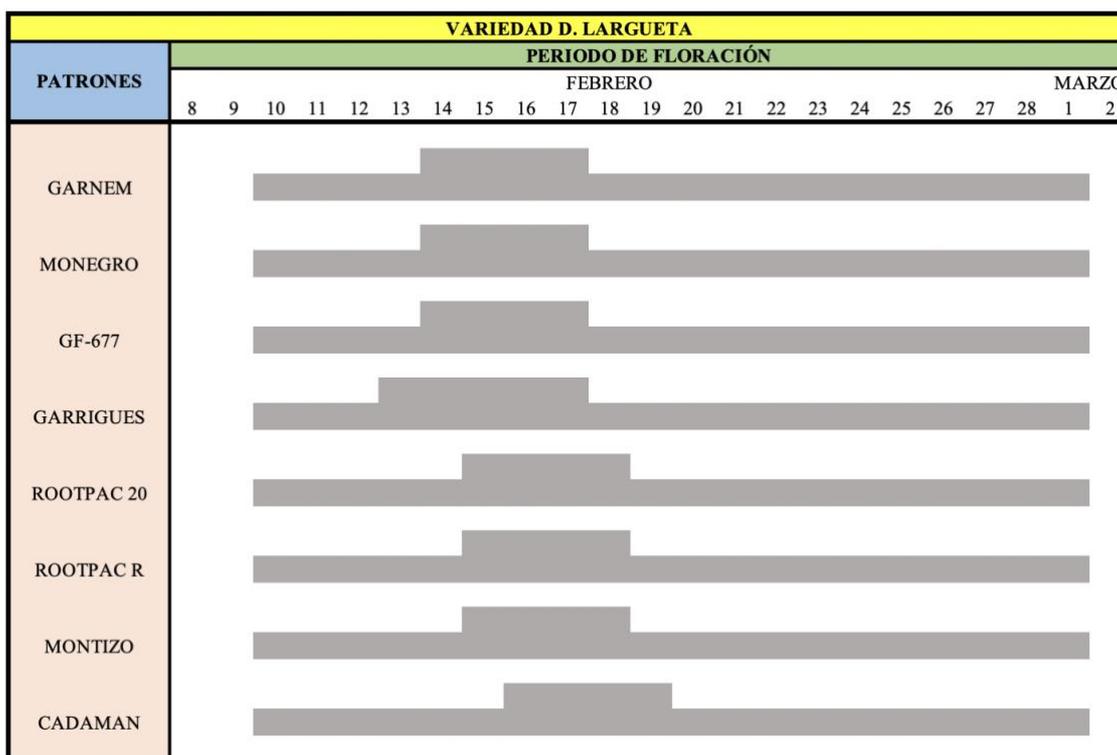


Figura 30. Comportamiento fenológico de la variedad ‘D.Largueta’ y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración.

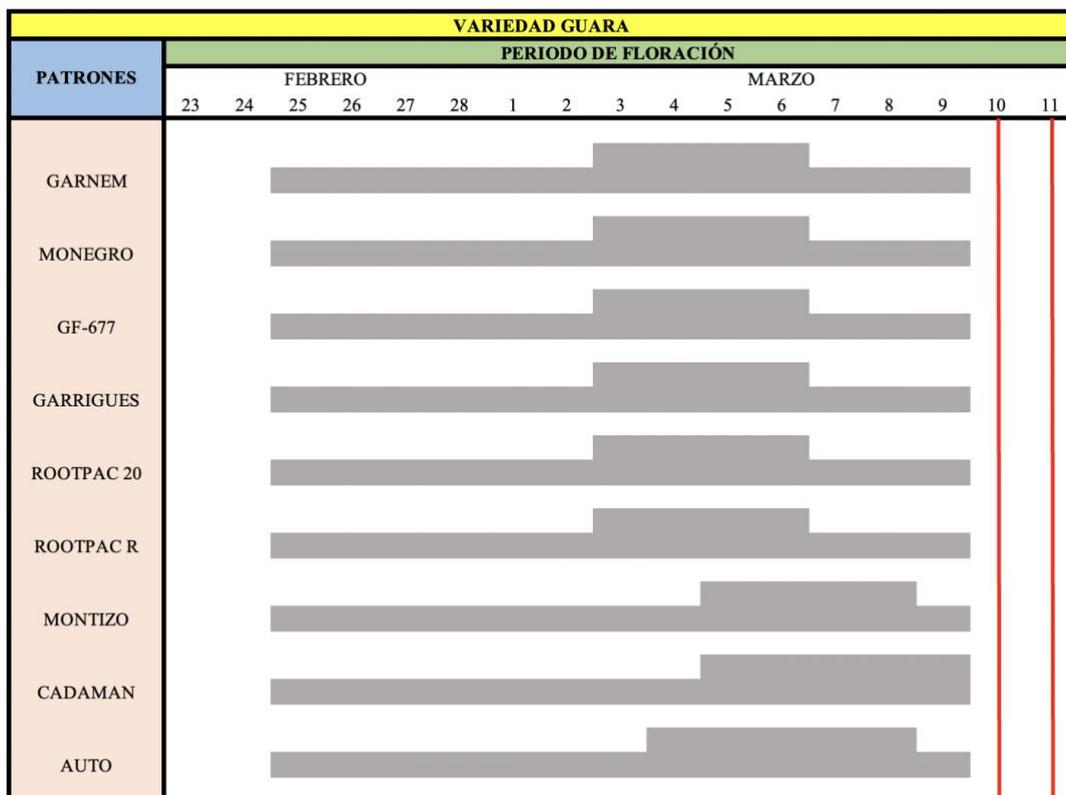


Figura 31. Comportamiento fenológico de la variedad 'Guara' y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo)-

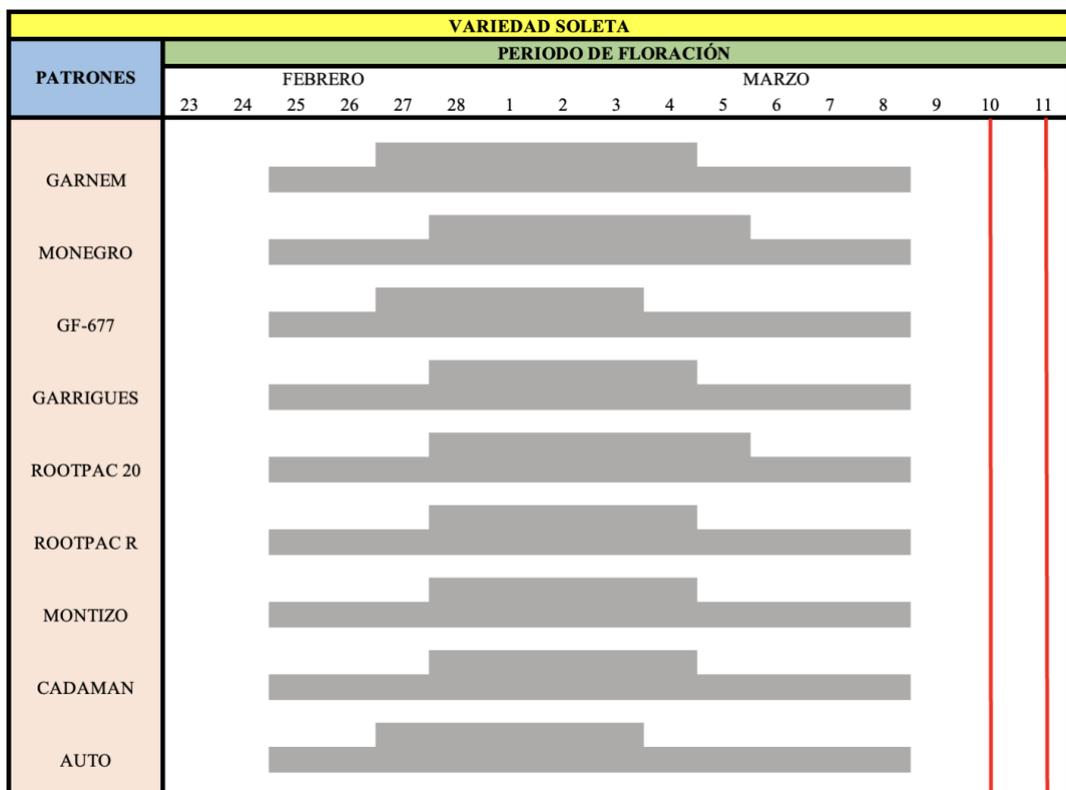


Figura 32. Comportamiento fenológico de la variedad Soleta® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo)-

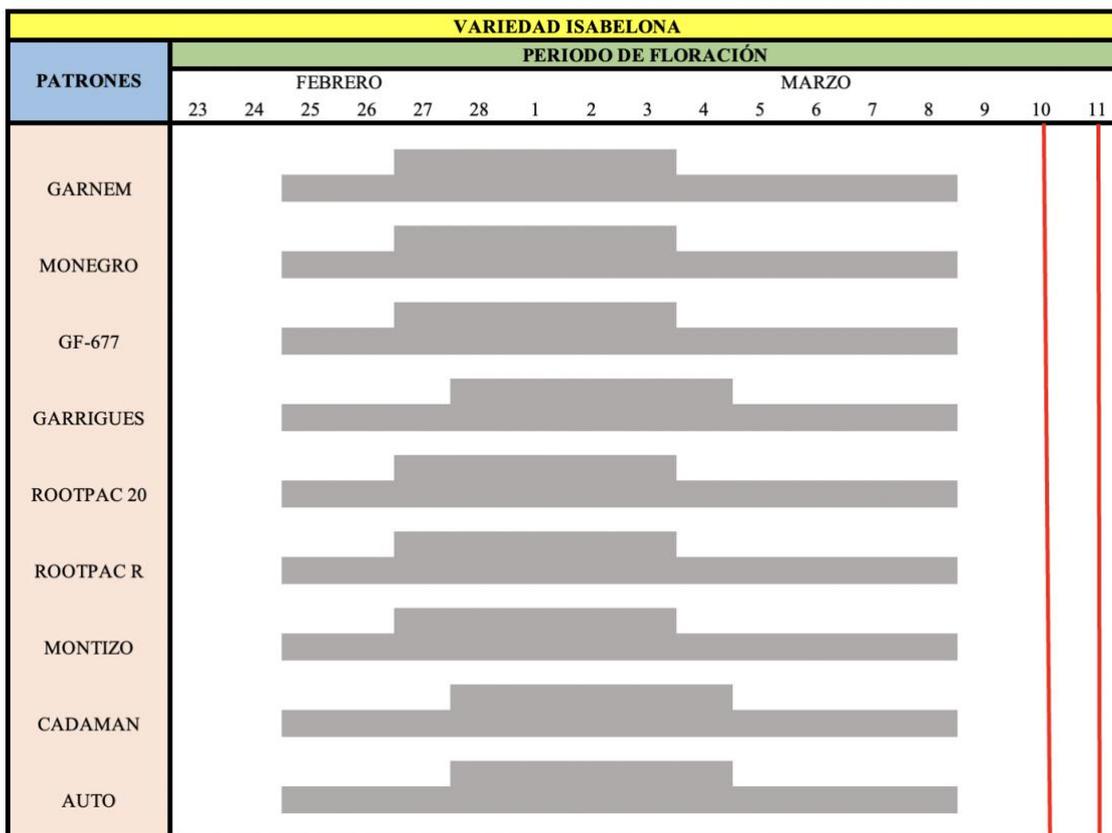


Figura 33. Comportamiento fenológico de la variedad Isabelona® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^n \geq 36^\circ\text{C}$  (líneas verticales en color rojo)-

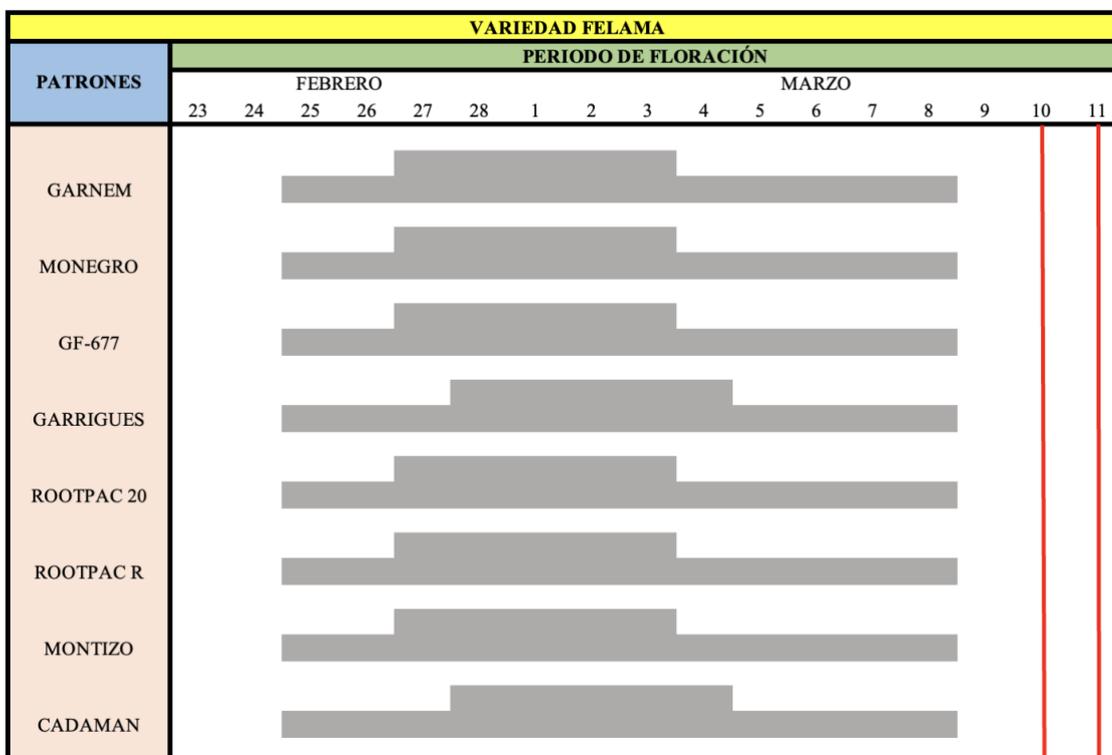


Figura 34. Comportamiento fenológico de la variedad Felama® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^n \geq 36^\circ\text{C}$  (líneas verticales en color rojo)-

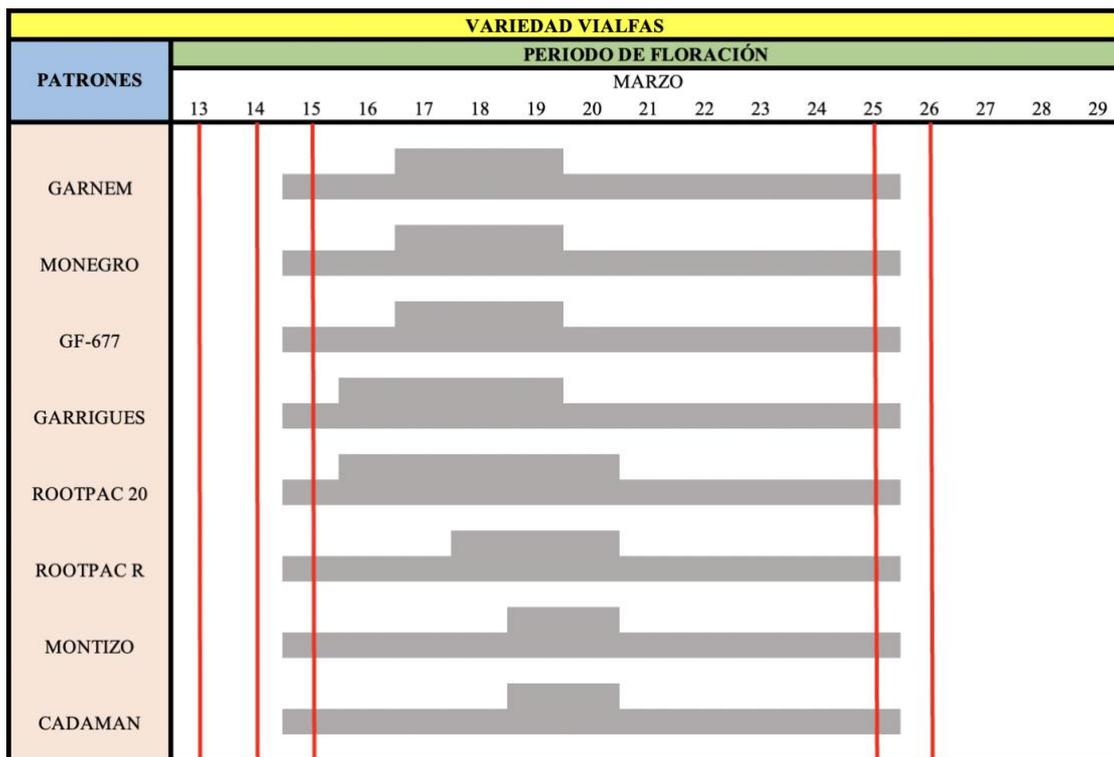


Figura 35. Comportamiento fenológico de la variedad Vialfas® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo)-

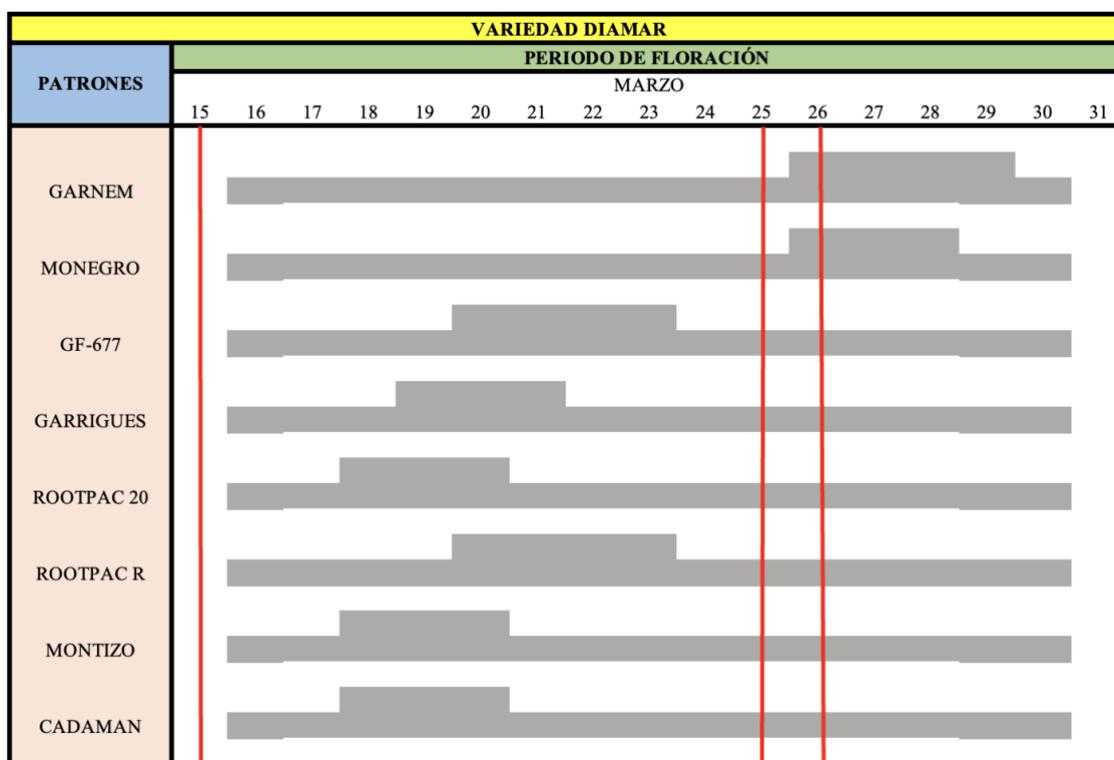


Figura 36. Comportamiento fenológico de la variedad Diamar® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo)-

Teniendo en cuenta el comportamiento de estas variedades y las condiciones climáticas en la Cuenca del Guadalquivir se puede decir que:

- En este caso, es la variedad más temprana y las de floración tardía, las más recomendadas para esta zona geográfica puesto que no hay presencia de días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul) ni días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo). Así pues, las variedades 'D.Largueta', 'Guara', Soleta<sup>®</sup>, Isabelona<sup>®</sup> y Felama<sup>®</sup> (teniendo en cuenta todos los patrones) tienen un periodo de floración libre de riesgo por heladas y altas temperaturas.
- Durante el periodo de floración de la variedad extra-tardía Vialfas<sup>®</sup> se han registrado cinco días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo), pero no dándose ninguno de ellos durante el F50.
- La variedad extra-tardía Diamar<sup>®</sup> es la menos apta para esta región ya que injertada sobre el patrón Garnem<sup>®</sup> y Monegro<sup>®</sup> los días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo) se dan en el periodo F50 de la floración. Injertada sobre el resto de los patrones no hay problemas en el periodo F50 pero si durante el periodo global de la floración.

### **3. Cuenca hidrográfica del Tajo: Estación meteorológica de Guadalupe, Cáceres (Extremadura).**

De la misma manera que ocurre en la Cuenca hidrográfica del Guadalquivir, en las condiciones climáticas de la Cuenca del Tajo se observa que, puesto que no hay riesgo de heladas y que únicamente se dan días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo) ocasionalmente, se trata de una zona apta para el cultivo del almendro en la mayoría de las variedades estudiadas.



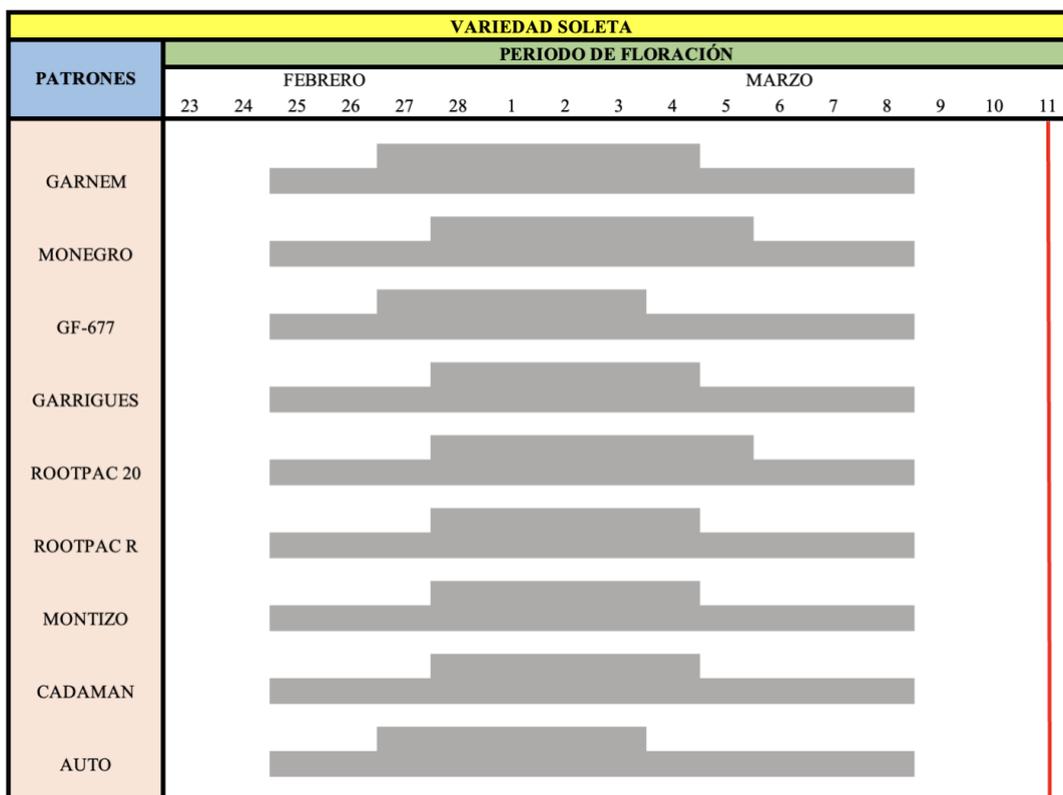


Figura 39. Comportamiento fenológico de la variedad Soleta® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Tajo durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo)-

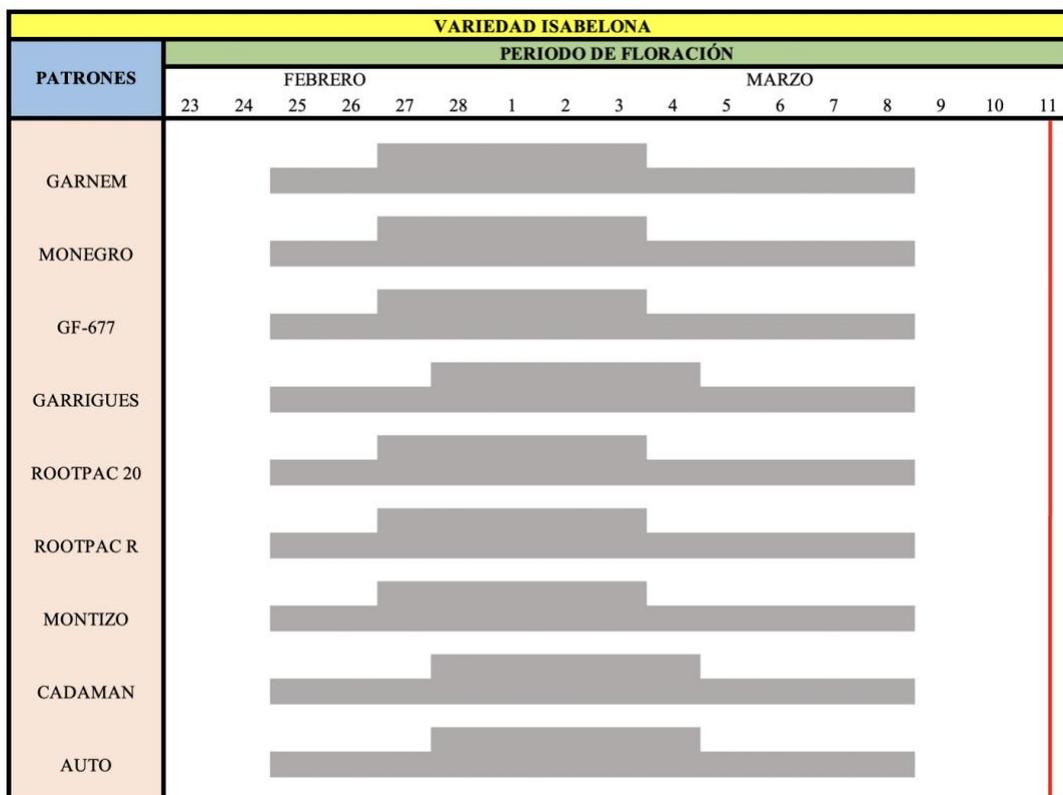


Figura 40. Comportamiento fenológico de la variedad Isabelona® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Tajo durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo)-

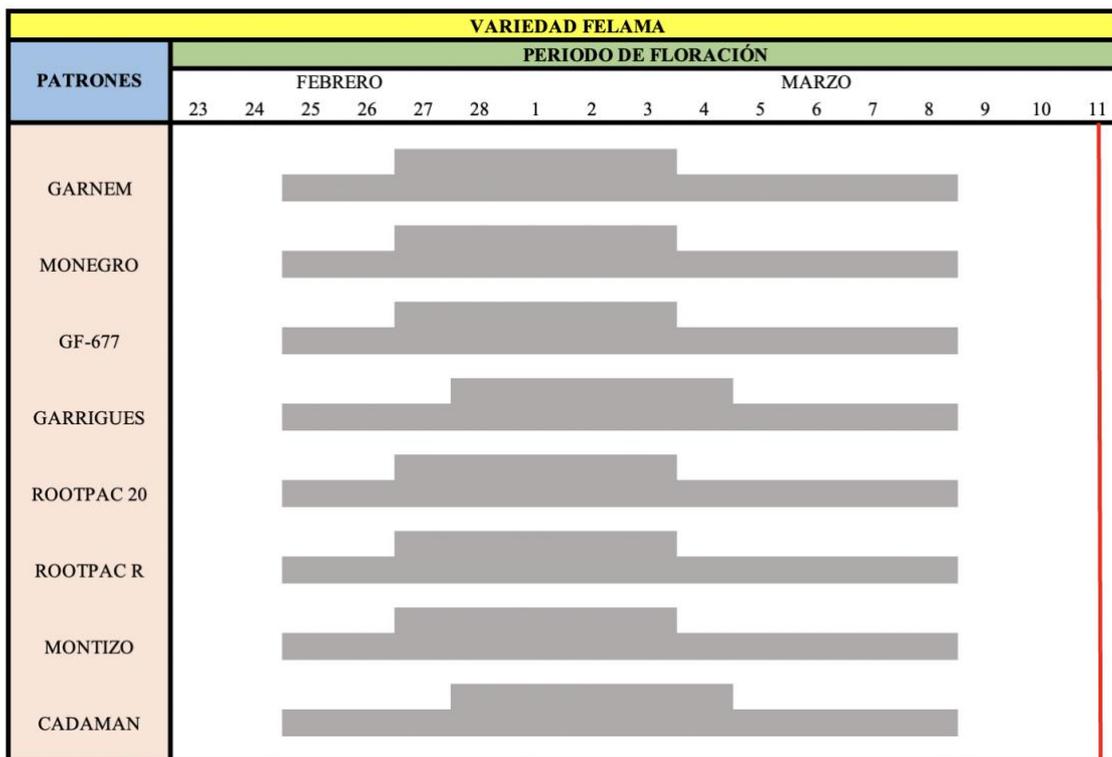


Figura 41. Comportamiento fenológico de la variedad Felema® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Tajo durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo)-

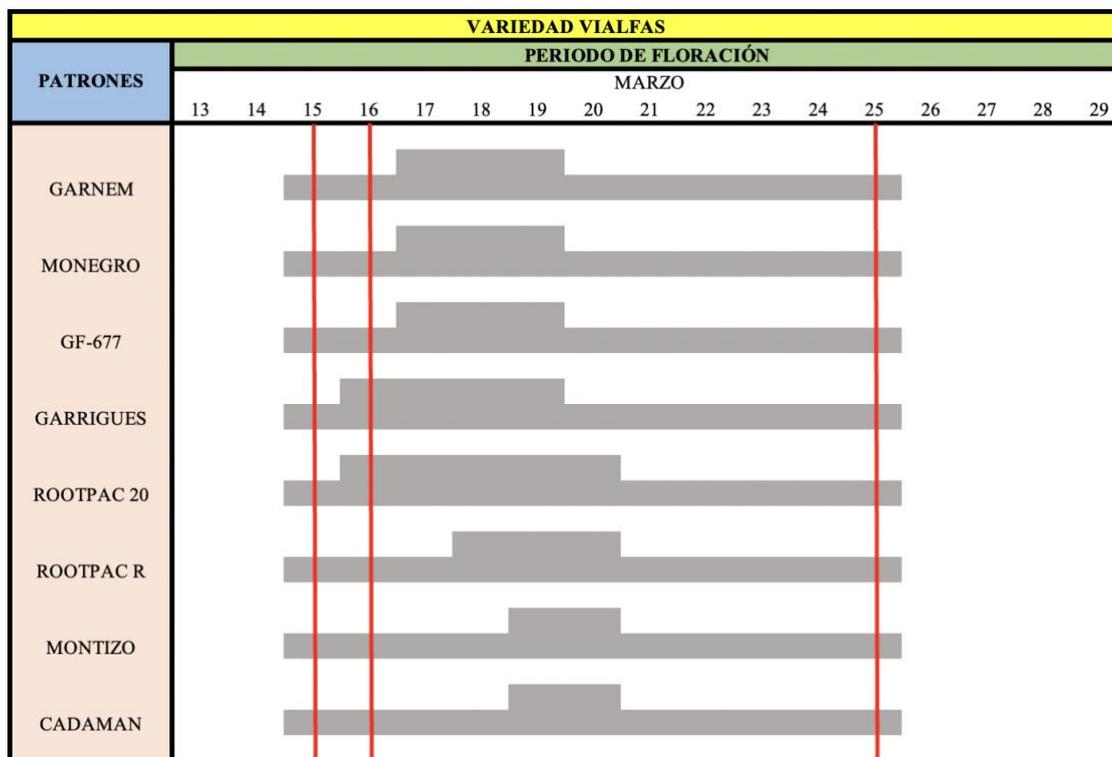
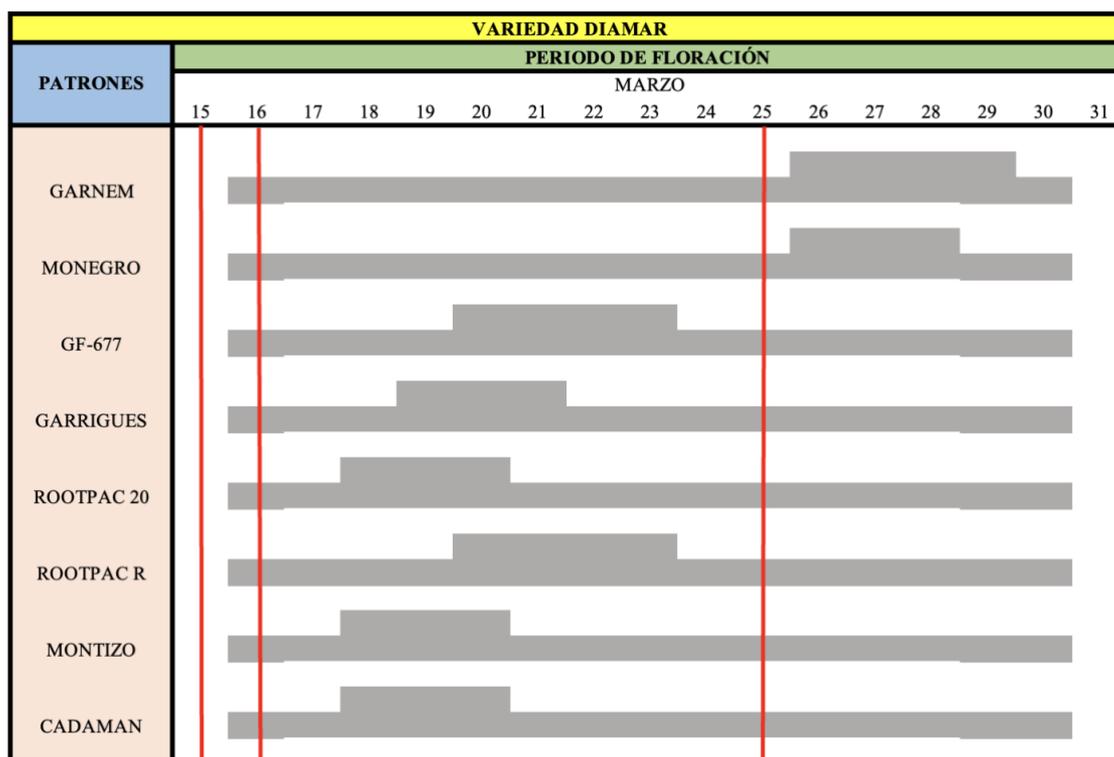


Figura 42. Comportamiento fenológico de la variedad Vialfas® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Tajo durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo)-



**Figura 43. Comportamiento fenológico de la variedad Diamar® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Tajo durante el periodo de floración.**  
-Días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo)-

Teniendo en cuenta el comportamiento de estas variedades y las condiciones climáticas en la Cuenca del Tajo se puede decir que:

- Como en la Cuenca del Guadalquivir, es la variedad más temprana y las de floración tardía, las más recomendadas para esta zona geográfica puesto que no hay presencia de días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul) ni días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo). Así pues, las variedades ‘D.Largueta’, ‘Guara’, Soleta®, Isabelona® y Felama® (teniendo en cuenta todos los patrones) tienen un periodo de floración libre de riesgo por heladas y altas temperaturas.
- Durante el periodo de floración de la variedad extra-tardía Vialfas® se han registrado tres días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo), ocurriendo en el F50 de la floración cuando esta variedad está injertada sobre los patrones Garrigues y Rootpac®20.
- En el caso de la variedad extra-tardía Diamar® también se han registrado durante el periodo de floración tres días con  $T^a \geq 36^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color rojo), pero no dándose ninguno de ellos durante el F50.

#### 4. Cuenca hidrográfica del Duero: Estación meteorológica de Aldearrubia, Salamanca (Castilla León).

En las condiciones climáticas de la Cuenca del Duero, la zona geográfica más fría, se observa que, debido al gran número de días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul), es la Cuenca más problemática para el cultivo del almendro debido al efecto de las heladas durante la floración.

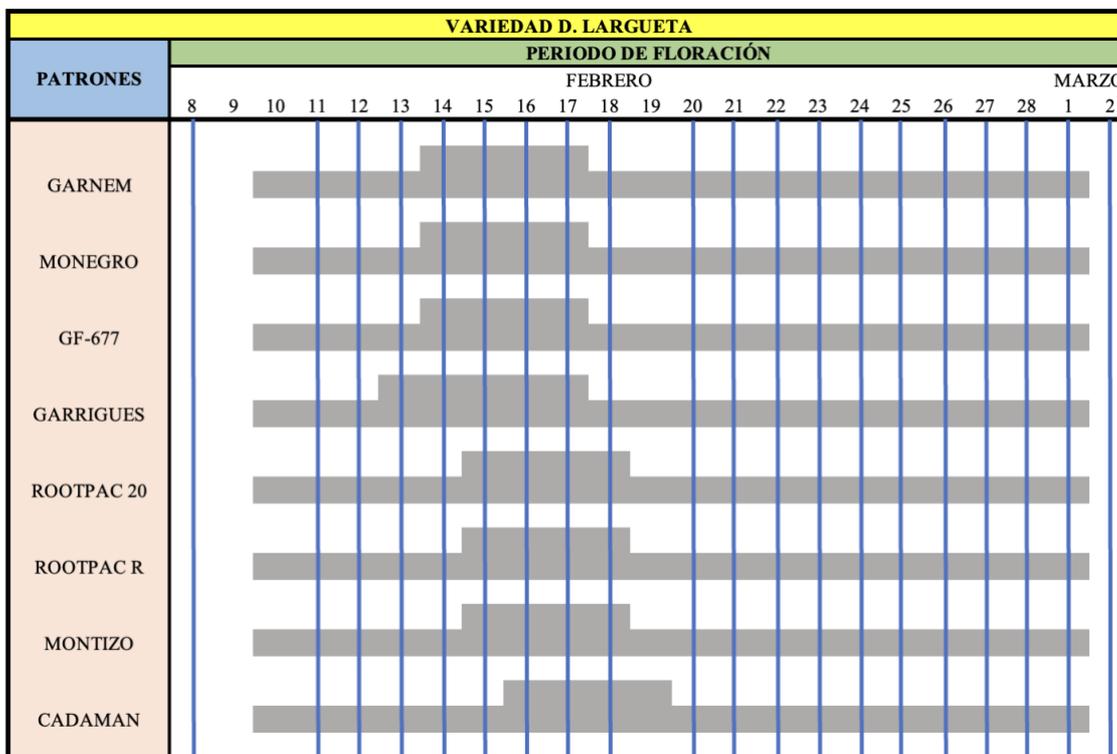


Figura 44. Comportamiento fenológico de la variedad 'D.Largueta' y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.

-Días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul)-

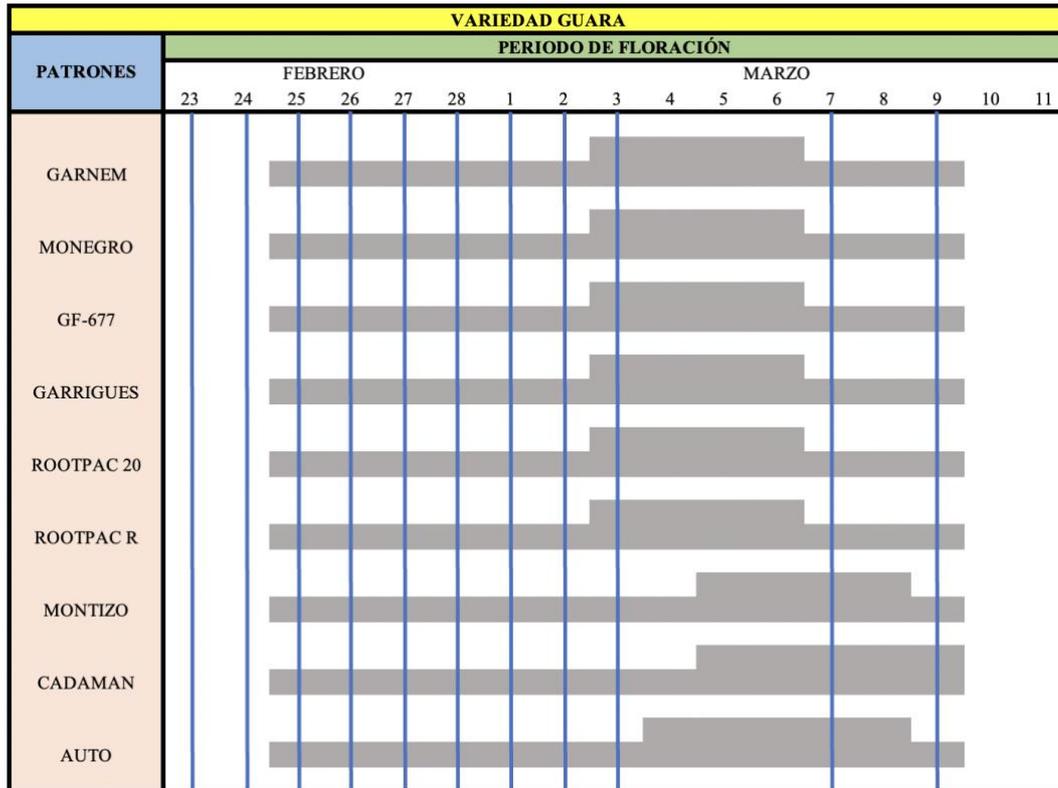


Figura 45. Comportamiento fenológico de la variedad ‘Guara’ y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul)-

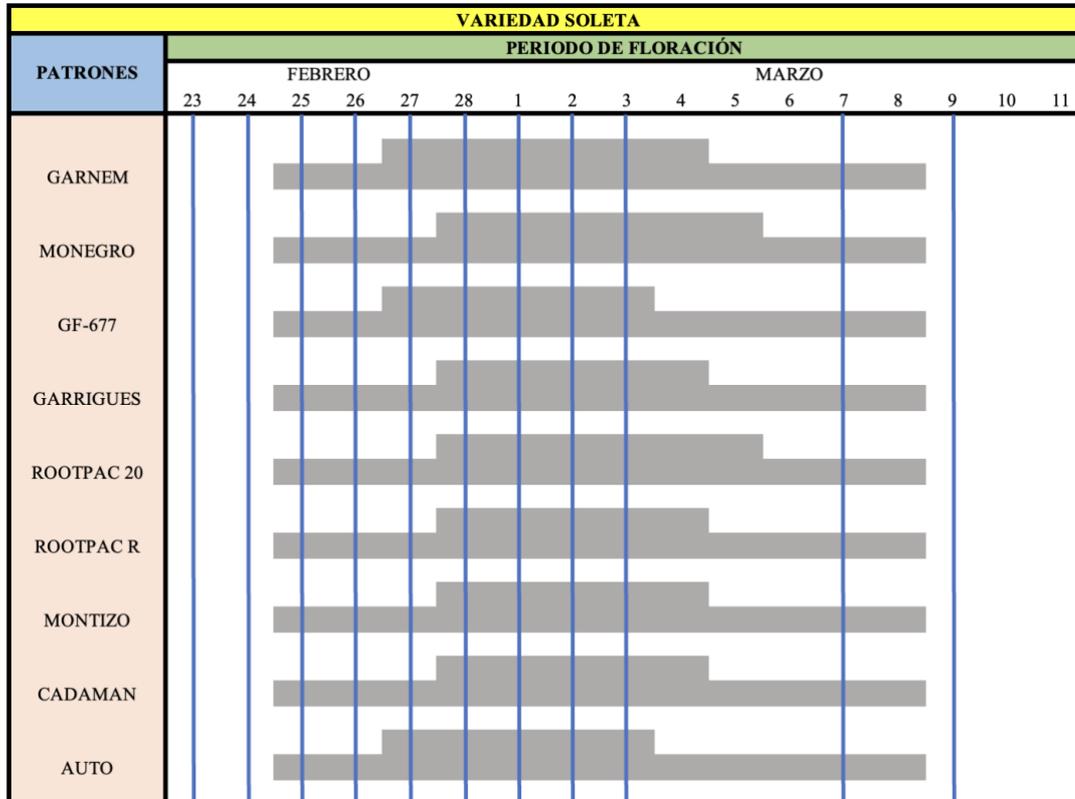


Figura 46. Comportamiento fenológico de la variedad Soleta® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul)-

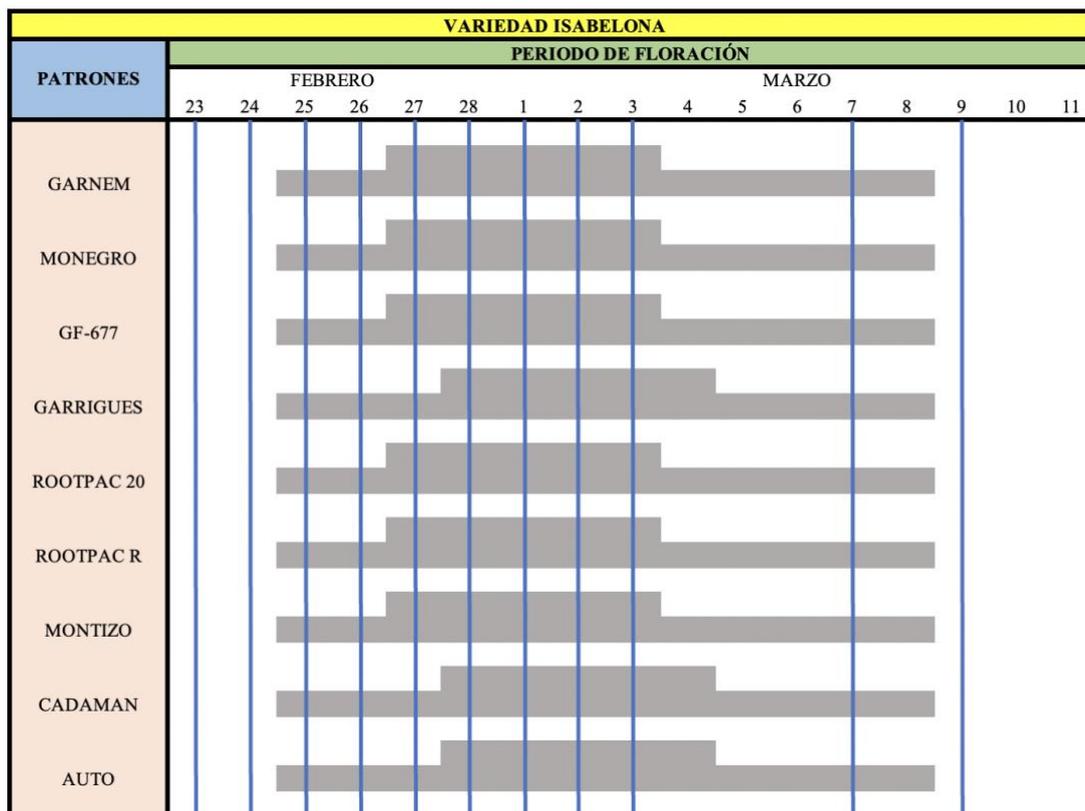


Figura 47. Comportamiento fenológico de la variedad Isabelona® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.  
-Días con T<sup>a</sup> < 0°C (líneas verticales en color azul)-

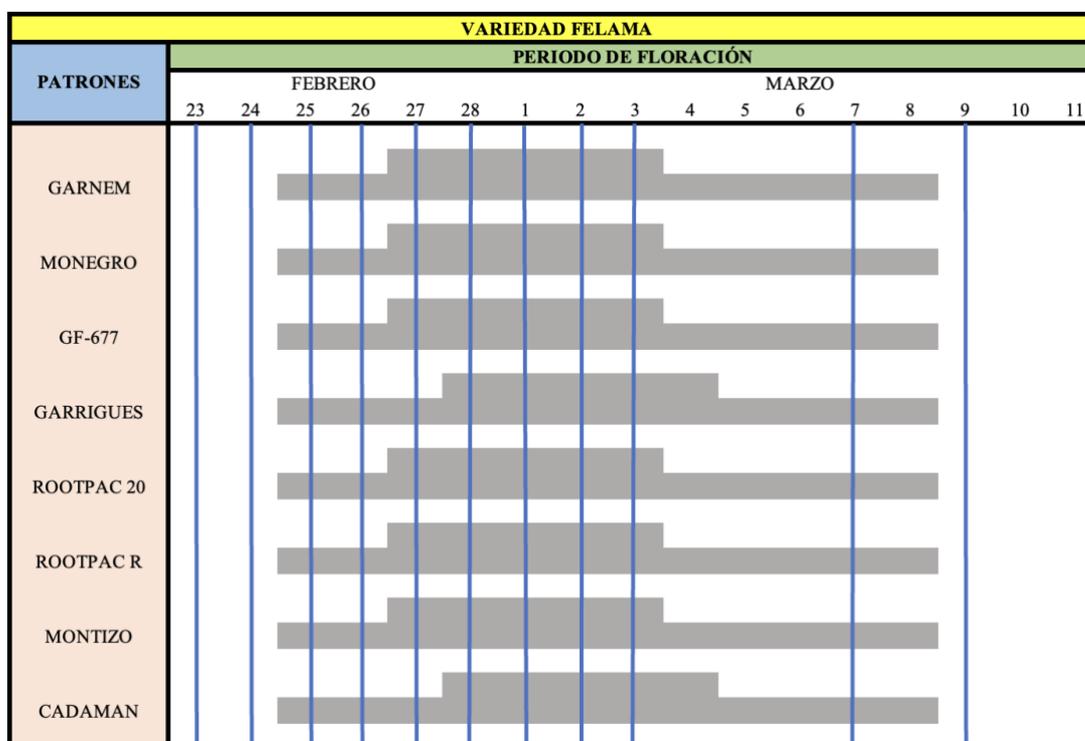


Figura 48. Comportamiento fenológico de la variedad Felama® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.  
-Días con T<sup>a</sup> < 0°C (líneas verticales en color azul)-

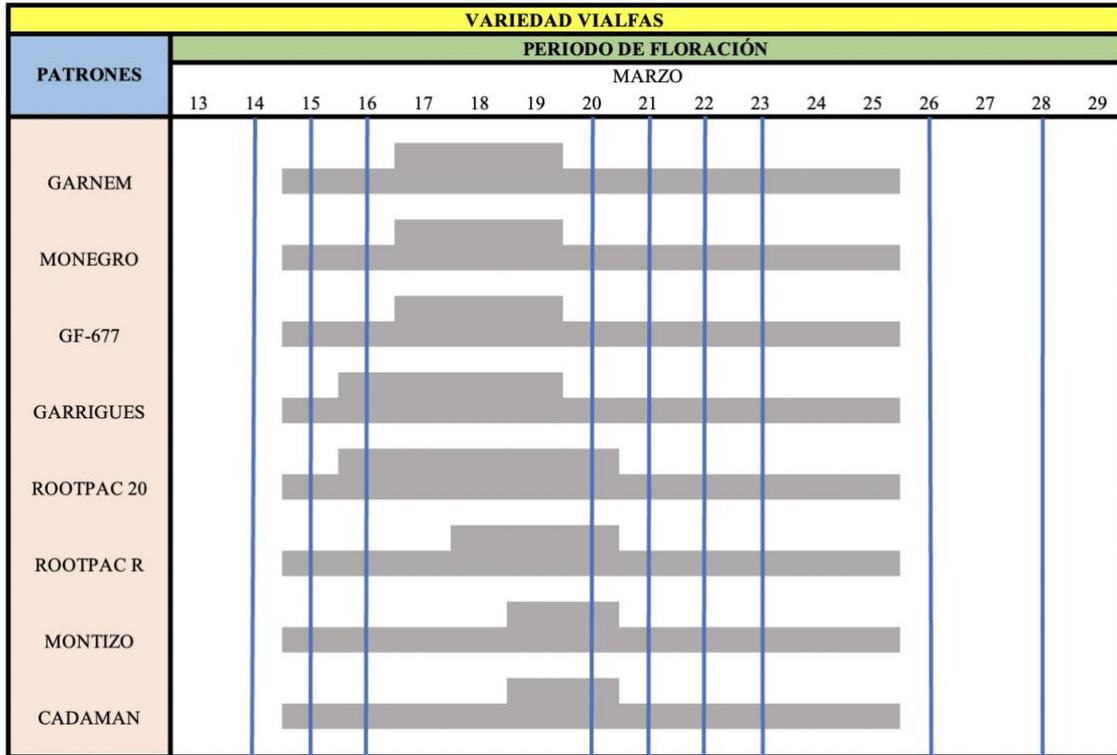


Figura 49. Comportamiento fenológico de la variedad Vialfas® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul)-

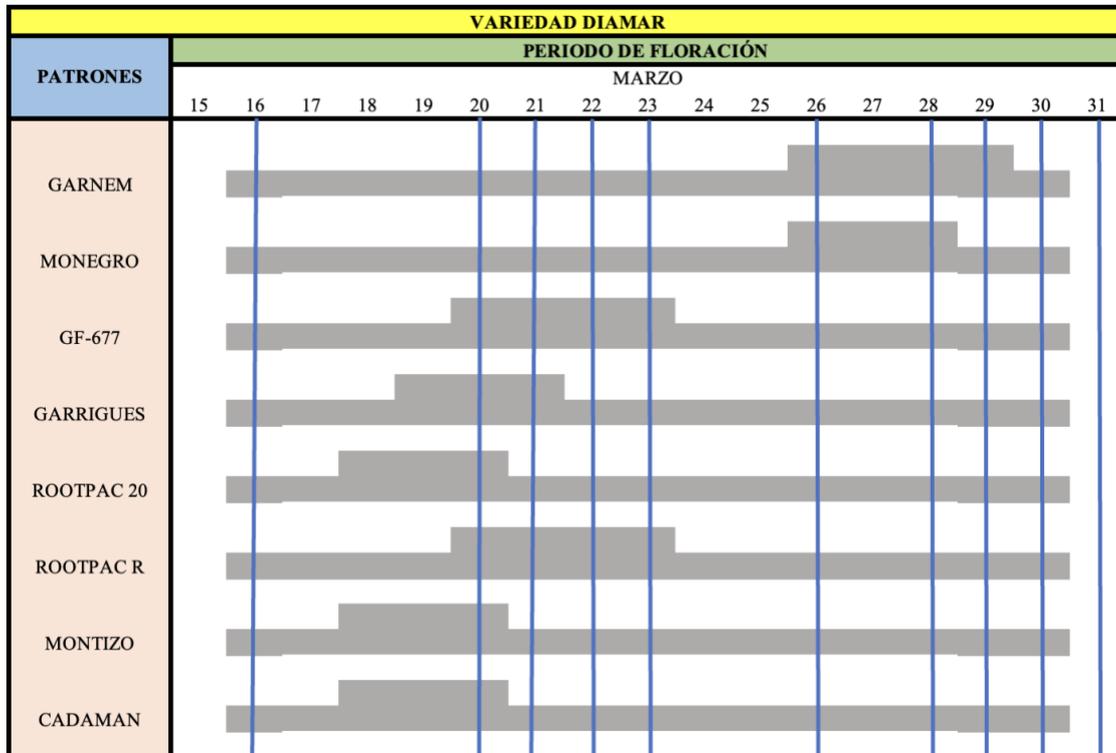


Figura 50. Comportamiento fenológico de la variedad Diamar® y condiciones climáticas en la Cuenca hidrográfica del Duero durante el periodo de floración.  
-Días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul)-

Teniendo en cuenta el comportamiento de estas variedades y las condiciones climáticas en la Cuenca del Duero se puede decir que:

- La variedad más temprana ‘D.Largueta’ es la menos recomendada para esta zona puesto que el número de días en las que se producen heladas en esta Cuenca afecta en un porcentaje de casi el 100% en el periodo F50 de la floración de esta variedad. El patrón Garrigues adelanta y alarga la floración de esta variedad un día.
- En la mayoría de los días en los que acontece el periodo de floración de las variedades ‘Guara’, Soleta<sup>®</sup>, Isabelona<sup>®</sup> y Felama<sup>®</sup> se dan  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul), incluyendo los días en los que se da el F50 de esta variedad. De entre ellas, es la variedad ‘Guara’ injertada sobre los patrones Garnem<sup>®</sup>, Monegro<sup>®</sup>, GF-677, Garrigues, Rootpac<sup>®</sup>20 y Rootpac<sup>®</sup> R la que tiene más días sin riesgo por heladas dentro de su F50 de floración.
- De la misma manera que en la Cuenca del Ebro, en la variedad Vialfas<sup>®</sup>, los patrones Garnem<sup>®</sup>, Monegro<sup>®</sup> y GF-667, retrasan un poco el periodo de floración y también lo acortan, quedando el periodo F50 sin riesgo de heladas tardías.
- En el caso de la variedad extra-tardía Diamar<sup>®</sup> la gran presencia de días con  $T^a < 0^{\circ}\text{C}$  (líneas verticales en color azul) afecta por completo al periodo de floración, aunque en menor medida en el F50 cuando está injertada sobre los patrones Rootpac<sup>®</sup>20, Montizo y Cadaman.

## 5. CONCLUSIONES

Tras la valoración de los resultados de cada uno de los objetivos del trabajo se llega a las siguientes conclusiones:

1. En el cultivo del almendro todavía no hay una correlación exacta entre los métodos de cálculo de las necesidades de frío, por lo que es necesario el desarrollo de modelos o más estudios para finalmente correlacionar los modelos existentes.
2. Debido a la dificultad que presentan estos modelos matemáticos, se ha calculado el número de horas frío llegando a una diferenciación por Cuencas hidrográficas en lugar de una diferenciación por variedades, tal y como se ha podido realizar con el cálculo de las necesidades de calor. Con los resultados obtenidos se ha podido hacer una extrapolación y continuar con el estudio.
3. En las cuencas estudiadas no hay problema en alcanzar las horas frío necesarias para la rotura de la endodormancia, ya que los requerimientos del almendro son muy bajos.
4. Puesto que el periodo de floración de este estudio está comprendiendo desde principios de febrero a finales de marzo las variedades estudiadas se pueden agrupar según:

- La variedad de floración temprana ‘D.Largueta’, cuyo F50 se da a mediados de febrero, es la que necesita una menor acumulación de horas frío para su desarrollo.
  - Las variedades de floración más tardía a ‘D.Largueta’ como Soleta<sup>®</sup>, Isabelona<sup>®</sup> y Felama<sup>®</sup>, cuyo F50 se da entre la última semana de febrero y la primera semana de marzo, necesitan una acumulación superior de horas frío con respecto a la variedad de floración temprana para su desarrollo.
  - La variedad ‘Guara’, de floración pocos días después al grupo anterior, necesita aproximadamente una acumulación similar de horas frío para su desarrollo.
  - La variedad de floración tardía Vialfas<sup>®</sup> y la variedad de floración extra-tardía Diamar<sup>®</sup> son las dos variedades que necesitan una mayor acumulación de horas frío para el desarrollo del cultivo.
5. Cuando se cultivan variedades con bajas necesidades de frío, es decir, variedades de floración precoz, en zonas con inviernos fríos, la floración puede tener lugar demasiado pronto puesto que las necesidades de frío son satisfechas rápidamente. En este caso, las bajas temperaturas podrían dañar las yemas en su estado fenológico más susceptible, conllevando la posible aparición de anomalías florales y la aparición de heladas podría producir importantes pérdidas en los cultivos.
  6. La acumulación de calor en climas muy fríos se dará de un modo más lento, retrasando la floración de un modo apreciable, aunque hayan cubierto de modo suficiente las necesidades de frío para salir del letargo.
  7. Dados los resultados que en todas las cuencas estudiadas la acumulación de frío tiende a disminuir y la acumulación de calor tiende a aumentar, la evolución temporal de los parámetros térmicos muestra que se puede llegar a la modificación de la fenología futura del almendro.
  8. Aunque los resultados expresen una reducción de frío en climas futuros, el almendro aún debería poder cumplir con sus requisitos de frío en estas zonas de estudio. Sin embargo, si realmente se produce un aumento considerable de este parámetro fundamental para el desarrollo del cultivo, esto podría conducir a serias complicaciones como retrasos en las etapas fenológicas, problemas en la floración, pérdida de botones florales entre otros.
  9. El aumento rápido e intensivo de la acumulación de calor que se observa en los dos últimos años respecto la media, en el Valle del Guadalquivir y especialmente en el Valle del Ebro, tenderá a acortar la duración de las etapas fenológicas, adelantando la madurez, hecho que puede ser un factor para escapar de las heladas si el fruto está ya muy desarrollado en estado fenológico, especialmente en las variedades de floración temprana en la Cuenca del Ebro.
  10. Para determinar las nuevas zonas de cultivo del almendro es más problemático el aumento de calentamiento que el descenso de las horas de enfriamiento.

11. Para la recomendación de variedades hay que tener en cuenta que el almendro es una especie que presenta una gran diversidad de variedades con distinta duración de las fases fenológicas.
12. En la Cuenca del Ebro, las variedades estudiadas se han adaptado especialmente bien, y aunque es una zona con riesgo de helada durante el periodo de floración, hay muchas plantaciones de almendro. Esto se debe a que es una zona en la que los agricultores apuestan por este cultivo, puesto que actualmente les resulta rentable debido al precio de la almendra y obtienen un rendimiento de la tierra muy superior al que pueden esperar con otros cultivos, sobre todo en secano. Aun así, las variedades más aptas para esta región son la variedad tardía 'Guara' muy adaptada desde los años 80 y las variedades extra-tardías Vialfas<sup>®</sup> Diamar<sup>®</sup> injertadas sobre los patrones Garnem<sup>®</sup>, Monegro<sup>®</sup> y GF-667.
13. En la Cuenca del Guadalquivir y en la Cuenca del Tajo, variedades tardías y extra-tardías pueden tener pérdidas de rendimiento asociadas con el incumplimiento de los requisitos de frío. Por el contrario, las variedades tempranas y de mitad de temporada deberían verse menos afectadas por una reducción del frío, debido a menores requisitos de frío. Además, es en estas variedades variedades tardías y extra-tardías donde el periodo de floración se da en días con temperaturas superiores a 36°C.
14. La Cuenca del Duero es la más problemática para el cultivo del almendro debido al efecto de las heladas durante la floración, por lo que no se recomienda ninguna de las variedades estudiadas para esta zona. Aun así, las más resistentes y las que se adaptarían mejor a esta zona serían las variedades extra-tardías.
15. En general, en un contexto de cambio climático acentuado como el que se está experimentando, la agricultura se está enfrentando a serios problemas y se necesitan soluciones innovadoras, sobre todo en material varietal.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J.M., Ansón, J.M., Espiau, M.T. (2005). Determination of endodormancy break in almond flower buds by a correlation model using the average temperature of different day intervals and its application to the estimation of chill and heat requirements and blooming date. *Horticultural Reviews*. Vol. 130: 308-318.
- Alonso, J.M., Ansón, J.M., Kodad, O. (2010). Selection of almond tree planting material. Selection criteria and current possibilities. *Horticultural Reviews*. Vol. 39:12-25.
- Anderson, J.L.; Seeley, S.D. (1986). Bloom delay in deciduous fruits. *Horticultural Reviews*. Vol.15:97-144.
- Citadin I., Raseira M.C.B., Herter F.G., da Silva J. Baptista (2001). Heat requirement for blooming and leafing in peach. *Horticultural Reviews*. Vol. 36(2):305-307.
- *Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul* - <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/sostenibilidadmedioambienteyeconomiaazul.html> - Junta de Andalucía [Consulta: 10 de julio de 2023].
- Dennis, F.G. (2003). Problems in standardizing methods for evaluating the chilling requirements for the breaking of dormancy in buds of woody plants. *Horticultural Reviews*. Vol. 38:347-350.
- Fadón, E., Rodrigo, J., (2018a). Unveiling winter dormancy through empirical experiments. *Horticultural Reviews*. Vol. 152: 28-36.
- Fadón, E., Rodrigo, J., Herrero, M., (2018b). Is there a specific stage to rest? Morphological changes in flower primordia in relation to endodormancy in sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Horticultural Reviews*. Vol. 32: 1583-1594.
- Fadón, E., Fernandez, E., Behn, H., Luedeling, E., (2020a). A Conceptual framework for winter dormancy in deciduous trees. *Agronomy* 10, 241.
- Fadón, E., Herrera, S., Guerrero, B.I., Guerra, M.E., Rodrigo, J., (2020b). Chilling and heat requirements of temperate stone fruit trees (*Prunus* sp). *Agronomy* 10, 409.
- Felipe, A.J. (1988). Observaciones sobre comportamientos frente a heladas tardías en almendro. Vol. 1157: 145-148.
- Felipe, A.J. (1989). Patrones para frutales de pepita y hueso. Ediciones Técnicas Europeas, S. A, Barcelona. 181 pp.
- Felipe, A.J.(1997). Almendro, estados fenológicos. *Informaciones Técnicas Economía Agraria.*, 27:8-9.
- Felipe, A.J. (2000). El almendro. El material vegetal. Integrum, Lérida. 461 pp.
- Felipe, A.J., Rius X., Rubio-Cabetas M.J (2017) *El cultivo del almendro. El almendro II*. Zaragoza. ISBN 978-0-646-97816-1.

- Felipe, A.J., Rius X., Rubio-Cabetas M.J (2022) *El cultivo del almendro. El almendro II*. 2º Edición. Zaragoza. ISBN 978-0-646-858517.
- Fennell A. (1999). Systems and approaches to studying dormancy: Introduction to the workshop. *Horticultural Reviews*. Vol. 34(7):1172-1173.
- Fishman S., Erez A., Couvillon G.A. (1987). The temperature dependence of dormancy breaking in plants: mathematical analysis of a two-step model involving a cooperative transition. *Horticultural Reviews*. Vol. 124: 473-483.
- Fraga H, Santos JA (2021). Assessment of climate change impacts on chilling and forcing for the main fresh fruit regions in Portugal. *Horticultural Reviews*. Vol. 12:1-13.
- Freitas TR, Santos JA, Silva AP, Fraga H (2021) Influence of climate change on chestnut trees: a review. *Horticultural Reviews*. Vol. 10:1-17.
- Freitas TR, Santos A., Silva AP (2023). Climate change projections for bioclimatic distribution of *Castanea sativa* in Portugal. *Agronomy* 12:16.
- *Gobierno de Aragón* - <https://www.aragon.es/-/atlas-climatico-de-aragon> - Portal de Aragón [Consulta: 16 de agosto de 2023].
- *Gobierno de Aragón* - <https://www.aragon.es/-/oficina-del-regante> - Portal de Aragón [Consulta: 18 de agosto de 2023].
- Kester, D.E., Raddi, P., Asay, R. (1975). Correlation among chilling requirements for germination, blooming and leafing in almond. *Horticultural Reviews*. Vol. 74:135-135.
- Kester, D.E.; Gradziel T.M.; Graselley, C. (1990). Almonds (*Prunus*) *Horticultural Reviews*. Vol. 209: 699-758.
- Rodríguez, A., Pérez - López, D., Sánchez, E., Centeno, A., Gómara, I., Dosio, A., Ruiz-Ramos, M., (2018). Chilling accumulation in fruit trees in Spain under climate change. *Horticultural Reviews*. Vol. 19: 1087-1103.
- Rohde, A., Bhalerao, R.P (2007). Plant dormancy in the perennial context. *Horticultural Reviews*. Vol. 12: 217-223.
- Sakar EH, El Yamani M, Boussakouran A, Rharrabti (2023). Codification and description of almond (*Prunus dulcis*) vegetative and reproductive phenology according to the extended BBCH scale. *Horticultural Reviews*. Vol. 247:224–234.
- *Servicio Integral de Asesoramiento al Regante SIAR* - <https://servicio.mapa.gob.es/websiar/> - [Consulta: 3 de marzo de 2023].
- Kodad O., Socias I Company (2006). Comportamientos frente a heladas de selecciones autocompatibles de almendro de floración extra-tardía.

- Lorite, I.J., Cabezas-Luque, J.M., Arquero, O., Gabaldón-Leal, C. Santos, C., Rodríguez, A., Ruiz-Ramos, M. Lovera, M. (2020) The role of phenology in the climate change impacts and adaptation strategies for tree crops: a case study on almond orchards in Southern Europe. *Horticultural Reviews*. Vol. 294:108142.
- Richardson, E.A., Seeley, S.D., Walker, D.R. (1974). A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *Horticultural Reviews*. Vol. 9:331–332.
- Richardson, E.A., Seeley, S.D., Walker, D.R., Anderson, J.L., Ashcroft, G.L. (1975). Phenoclimatology of spring peach bud development. *Horticultural Reviews*. Vol. 10:236–237.
- Rubio-Cabetas, M.J. (2010). Patrones para el cultivo del almendro. *Revista de FRUTICULTURA*, nº 10:45-55.
- Tabuenca, M.C. (1972). Necesidades de frío invernal en almendro. *Estación Experimental de Aula Dei*, 11:325–329.
- Tabuenca, M.C.(1975). Evaluación de las necesidades de frío para salir del reposo de variedades de almendro. *Anuario Estación Experimental de Aula Dei*, 13 (1-2):208-2016
- *Visor SigPac* - <https://sigpac.mapa.gob.es/fega/visor/> - [Consulta: 25 de marzo de 2023].
- Weimberger J.H. (1950). Chilling requirements of peach varieties. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 56: 122-128.



## **ANEJO 1: ESTUDIO CLIMÁTICO**

### **ÍNDICE DE TABLAS**

1. Temperaturas medias en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Zuera
2. Temperaturas medias máximas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Zuera
3. Temperaturas medias mínimas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Zuera
4. Temperaturas medias en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Córdoba
5. Temperaturas medias máximas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Córdoba
6. Temperaturas medias mínimas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Córdoba
7. Temperaturas medias en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Guadalupe
8. Temperaturas medias máximas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Guadalupe
9. Temperaturas medias mínimas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Guadalupe
10. Temperaturas medias en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Aldearrubia
11. Temperaturas medias máximas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Aldearrubia
12. Temperaturas medias mínimas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Aldearrubia

## 1. Cuenca hidrográfica del Ebro: Estación meteorológica de Zuera (Aragón).

**Tabla 1. Temperaturas medias en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Zuera.**

Fuente: Oficina del Regante

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2003	4,25	6,87	9,56	14,02	17,78	22,56	26,56	25,43	21,38	17,68	8,78	5,32	15,01
2004	5,47	6,76	9,99	13,58	17,90	23,78	25,48	25,73	18,78	15,86	8,09	5,13	14,71
2005	6,16	7,21	9,45	15,01	19,88	23,78	24,94	23,39	19,86	15,57	9,00	3,06	14,77
2006	4,88	5,22	11,26	13,80	18,79	22,83	27,08	22,30	21,07	17,06	11,89	4,16	15,03
2007	5,89	6,00	10,26	14,98	19,04	23,15	26,98	23,34	22,20	15,28	8,66	7,22	15,25
2008	4,21	4,88	8,87	12,79	16,78	20,89	25,34	26,37	20,87	16,87	9,08	6,67	14,46
2009	5,10	5,69	9,13	14,25	19,09	22,78	23,99	25,98	20,03	13,91	9,89	4,33	14,51
2010	6,27	7,89	10,76	15,51	19,76	22,98	24,73	18,91	18,53	12,04	8,13	4,12	14,13
2011	4,22	7,82	9,71	15,46	18,68	21,85	22,54	24,98	21,88	15,44	11,17	7,40	15,09
2012	6,16	4,70	11,10	11,96	19,26	23,65	24,24	26,44	20,46	14,99	9,51	6,77	15,43
2013	6,18	6,64	9,69	12,13	13,24	19,51	25,50	23,83	20,30	16,29	9,51	3,32	13,84
2014	7,21	6,90	10,40	15,24	16,56	22,23	23,14	23,03	21,37	17,09	10,86	7,14	15,10
2015	5,48	5,58	10,57	13,96	18,68	23,16	26,82	24,14	18,68	14,85	10,83	6,30	14,92
2016	7,80	8,00	9,16	12,45	16,31	21,91	24,78	24,61	21,27	14,87	8,08	2,17	14,28
2017	4,46	7,35	10,89	13,61	18,82	23,96	24,87	24,36	18,54	16,32	8,65	5,05	14,74
2018	7,61	5,83	9,08	13,19	16,45	21,76	26,22	25,34	22,20	15,08	9,98	7,34	15,00
2019	5,59	7,61	11,19	12,71	16,51	23,54	26,40	25,37	20,87	16,47	9,67	7,52	15,29
2020	4,64	9,43	10,30	14,00	19,15	20,98	25,46	25,23	20,03	13,21	9,96	6,23	14,88
2021	5,50	9,69	10,40	12,27	17,25	23,31	24,82	24,84	20,84	14,42	9,00	6,78	14,92
2022	4,21	9,07	10,09	12,88	20,34	25,42	27,16	26,68	21,14	18,52	11,26	7,53	16,19
<b>MEDIA</b>	<b>5,56</b>	<b>6,96</b>	<b>10,10</b>	<b>13,69</b>	<b>18,01</b>	<b>22,70</b>	<b>25,35</b>	<b>24,51</b>	<b>20,51</b>	<b>15,59</b>	<b>9,60</b>	<b>5,68</b>	<b>14,85</b>

**Tabla 2. Temperaturas medias máximas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Zuera.**

Fuente: Oficina del Regante

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	10,92	15,98	17,99	21,14	24,81	30,72	32,72	33,10	30,65	24,13	16,12	10,06
2004	10,18	15,56	16,94	17,92	25,65	33,18	33,47	32,78	28,80	23,61	15,49	12,75
2005	11,05	16,98	17,87	19,65	23,48	32,10	33,18	31,06	27,31	21,56	14,04	8,20
2006	9,09	11,58	17,49	20,82	26,33	31,55	35,54	29,73	28,16	23,05	16,79	7,50
2007	10,38	12,13	15,84	18,98	24,77	32,07	33,67	33,79	30,34	26,14	13,15	12,06
2008	10,62	14,74	18,88	21,04	23,41	31,21	35,73	32,70	27,91	22,61	17,64	11,60
2009	10,98	12,74	15,99	19,87	25,86	28,98	33,09	35,03	32,47	20,23	17,98	12,74
2010	9,79	11,14	19,69	19,46	26,78	33,37	32,01	26,11	25,87	18,46	13,58	9,24
2011	9,13	14,63	15,52	22,89	26,97	30,03	29,98	32,76	30,23	23,92	15,53	12,36
2012	11,51	12,13	19,48	17,99	26,88	31,72	32,62	35,10	27,88	21,53	14,66	12,44
2013	12,11	11,19	15,35	18,58	19,51	26,98	33,65	31,78	28,09	23,43	14,57	9,33
2014	12,27	12,98	17,46	22,36	23,81	30,11	30,50	30,39	28,55	25,04	16,38	11,59
2015	11,25	11,13	16,99	21,59	26,65	31,88	35,72	31,76	25,80	21,61	15,81	11,97
2016	12,54	14,04	14,94	18,86	23,08	30,07	33,41	33,69	29,34	21,24	13,11	5,00
2017	10,43	13,74	18,87	22,04	27,03	32,21	33,12	32,68	25,91	24,71	15,84	11,06
2018	13,12	11,14	14,99	19,61	23,77	28,88	34,72	34,01	30,46	22,13	15,55	12,70
2019	10,93	16,98	19,69	19,46	24,41	32,37	35,07	33,89	29,01	23,50	14,94	12,63
2020	10,02	17,56	16,68	20,14	26,87	28,72	34,10	33,52	28,16	20,42	16,29	11,40
2021	10,58	15,98	17,75	18,92	24,78	30,18	33,02	33,34	27,80	22,60	14,27	10,18
2022	12,05	16,41	15,05	19,75	28,71	34,11	36,42	35,00	28,49	25,46	17,30	13,28
<b>MEDIA</b>	<b>10,95</b>	<b>13,94</b>	<b>17,17</b>	<b>20,05</b>	<b>25,18</b>	<b>31,02</b>	<b>33,59</b>	<b>32,61</b>	<b>28,56</b>	<b>22,77</b>	<b>15,45</b>	<b>10,90</b>

**Tabla 3. Temperaturas medias mínimas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Zuera.**

**Fuente:** Oficina del Regante

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	0,85	0,53	3,67	8,58	9,97	14,89	14,55	16,69	15,22	11,87	5,56	-0,22
2004	2,52	1,78	4,74	5,63	10,89	13,25	15,98	17,21	16,07	9,76	4,09	-0,07
2005	-1,54	1,19	2,54	6,73	9,88	15,77	16,96	16,33	13,14	10,68	4,40	-1,42
2006	1,33	-0,70	5,61	7,08	11,02	14,49	18,67	15,36	14,95	11,61	7,45	-0,99
2007	1,53	1,35	4,91	5,23	10,82	14,21	16,99	15,98	15,39	9,57	6,16	0,41
2008	1,67	1,36	2,75	6,19	9,31	13,96	15,29	15,89	13,22	10,35	5,17	1,94
2009	0,49	2,65	3,67	6,85	9,54	14,08	14,17	17,54	12,25	11,30	6,70	-0,25
2010	0,41	0,99	3,61	7,47	9,27	13,29	16,21	12,27	11,89	6,92	3,08	-0,15
2011	-0,22	2,10	4,59	8,56	10,71	13,99	15,08	17,03	14,18	8,19	7,49	3,06
2012	1,56	-1,38	2,87	6,49	11,68	15,56	16,17	18,15	13,59	9,46	5,40	1,66
2013	1,15	2,53	4,22	5,88	7,08	12,33	17,67	16,26	13,43	10,33	5,16	-1,58
2014	3,19	0,78	3,85	8,56	9,59	14,17	15,96	16,29	15,28	10,30	6,17	3,26
2015	0,75	1,09	4,73	6,73	10,71	14,54	18,45	17,12	12,50	9,05	6,70	2,06
2016	3,52	2,64	3,91	6,23	9,82	14,01	16,42	15,98	14,24	9,55	3,63	-0,79
2017	-0,54	2,17	3,74	5,09	10,31	15,96	17,04	16,89	12,15	9,44	3,06	0,11
2018	2,53	1,15	3,74	6,65	9,94	14,99	17,99	17,54	15,09	9,13	5,47	2,94
2019	1,19	0,36	2,61	6,47	9,07	14,29	17,97	17,61	13,74	10,67	4,84	3,18
2020	0,59	2,77	4,62	8,45	11,89	14,10	17,04	17,42	12,82	7,14	5,00	2,05
2021	0,60	4,70	3,66	6,20	9,82	14,81	16,71	17,04	14,93	7,72	4,34	3,54
2022	-1,60	2,51	5,51	6,32	12,25	17,22	18,34	18,90	14,75	12,75	6,48	3,40
<b>MEDIA</b>	<b>1,00</b>	<b>1,53</b>	<b>3,98</b>	<b>6,77</b>	<b>10,18</b>	<b>14,50</b>	<b>16,68</b>	<b>16,67</b>	<b>13,94</b>	<b>9,79</b>	<b>5,32</b>	<b>1,11</b>

## 2. Cuenca hidrográfica del Guadalquivir: Estación meteorológica de Córdoba (Andalucía).

**Tabla 4. Temperaturas medias en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Córdoba.**

**Fuente:** SIAR

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2003	8,04	9,22	14,17	15,59	21,19	26,13	27,80	29,16	24,58	17,78	13,36	9,53	18,04
2004	9,56	10,59	12,33	14,29	17,20	25,71	28,20	27,71	24,44	18,51	11,24	8,44	17,35
2005	5,90	7,48	13,26	16,43	21,45	26,89	28,05	27,50	22,77	17,97	11,25	8,90	17,32
2006	7,45	8,71	12,90	16,81	21,27	24,40	28,23	27,07	23,67	19,45	14,16	8,08	17,68
2007	7,38	11,42	11,97	14,86	18,28	22,99	27,89	26,77	23,64	17,94	11,03	8,47	16,88
2008	9,44	11,82	12,60	15,36	17,51	24,69	27,11	27,58	22,03	17,77	9,89	7,42	16,93
2009	7,89	9,75	13,44	14,24	20,06	24,84	27,64	28,10	23,06	20,09	13,41	9,57	17,67
2010	8,94	10,20	12,76	16,54	18,74	22,82	28,88	28,46	23,69	16,90	11,24	9,02	17,35
2011	9,02	9,66	13,02	17,97	20,94	25,08	27,20	27,01	24,47	19,68	12,82	8,41	17,94
2012	7,24	6,89	13,07	14,48	21,29	26,15	27,28	28,29	23,35	17,96	13,14	8,80	17,33
2013	8,62	8,88	12,05	15,68	18,05	23,12	27,26	27,75	23,71	18,61	10,10	7,52	16,78
2014	8,54	10,14	12,69	17,19	20,69	23,44	26,19	26,69	23,37	19,63	13,93	7,79	17,52
2015	6,88	9,35	13,01	16,98	22,26	25,39	30,31	27,64	22,63	18,49	12,73	10,19	17,99
2016	10,60	10,86	11,41	15,74	18,57	24,94	29,07	28,51	24,85	19,60	12,45	10,34	18,08
2017	7,61	11,69	13,06	17,23	20,71	27,43	27,99	27,88	23,93	20,76	12,10	8,26	18,22
2018	8,46	8,46	11,68	15,19	18,34	23,47	25,75	29,31	25,23	17,75	12,34	9,30	17,11
2019	7,20	9,90	13,34	14,57	21,86	23,87	27,39	28,00	24,12	18,87	12,36	11,51	17,75
2020	8,80	12,80	13,79	15,57	21,24	24,42	30,70	27,96	23,89	17,02	14,10	9,72	18,33
2021	7,92	12,08	13,51	16,54	20,65	24,60	28,57	28,73	23,93	19,32	10,93	10,45	18,10
2022	8,23	11,30	12,83	14,61	21,98	25,72	30,26	28,64	24,12	21,22	14,42	12,29	18,80
<b>MEDIA</b>	<b>8,19</b>	<b>10,10</b>	<b>12,84</b>	<b>15,80</b>	<b>20,11</b>	<b>24,81</b>	<b>28,09</b>	<b>27,94</b>	<b>23,80</b>	<b>18,77</b>	<b>12,35</b>	<b>9,20</b>	<b>18,42</b>

**Tabla 5. Temperaturas medias máximas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Córdoba.**

Fuente: SIAR

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	13,87	15,00	20,95	22,02	29,06	34,37	36,73	37,94	32,51	22,48	18,28	14,57
2004	15,39	17,07	18,39	21,26	23,22	33,39	36,94	36,29	33,18	25,16	18,93	14,85
2005	15,23	15,10	20,07	24,08	29,33	35,29	36,83	36,69	30,77	24,51	17,27	14,63
2006	13,22	14,85	19,07	23,51	28,68	32,41	37,03	35,53	31,45	25,81	19,38	14,49
2007	14,88	16,31	19,33	20,61	25,20	30,60	37,08	35,32	30,85	25,15	19,37	15,35
2008	15,64	18,39	20,00	22,48	24,05	33,60	35,79	36,18	28,68	23,68	16,54	12,95
2009	12,73	16,34	20,49	20,94	28,00	32,65	36,08	36,12	29,52	27,87	20,50	14,79
2010	13,86	14,69	18,02	23,21	25,58	29,62	36,69	36,40	30,85	23,87	16,44	14,30
2011	14,30	17,01	19,00	24,84	27,55	32,78	34,69	34,52	32,55	27,98	18,88	15,78
2012	16,01	16,27	21,49	20,55	29,09	34,01	35,76	37,05	30,33	24,29	17,77	14,78
2013	14,00	15,38	16,78	22,32	25,18	30,93	35,55	36,15	30,68	25,83	17,90	15,69
2014	14,73	14,96	20,01	24,44	28,70	30,99	34,40	35,33	29,76	27,16	19,19	14,62
2015	15,04	15,55	21,59	24,12	31,31	34,10	39,56	35,92	30,36	24,65	21,33	18,53
2016	15,66	16,37	19,04	22,02	25,05	33,08	37,27	36,90	33,04	26,45	18,36	16,53
2017	15,38	17,29	20,76	25,71	28,35	35,90	36,96	36,37	32,64	29,98	20,82	14,96
2018	14,87	15,91	16,86	21,91	25,57	31,10	34,57	38,46	33,42	24,60	17,48	17,04
2019	15,33	18,99	21,96	21,55	30,67	32,37	36,05	37,10	32,24	27,53	17,58	17,28
2020	15,15	21,25	20,94	21,62	29,44	32,68	39,93	37,01	32,19	25,56	20,83	15,09
2021	14,10	18,24	21,84	23,32	29,35	33,31	37,59	37,59	31,71	27,86	18,43	17,15
2022	16,48	20,15	18,62	21,47	31,37	34,48	40,02	37,48	31,99	29,11	20,88	17,57
<b>MEDIA</b>	<b>14,79</b>	<b>16,76</b>	<b>19,77</b>	<b>22,60</b>	<b>27,74</b>	<b>32,89</b>	<b>36,78</b>	<b>36,52</b>	<b>31,44</b>	<b>25,98</b>	<b>18,81</b>	<b>15,55</b>

**Tabla 6. Temperaturas medias mínimas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Córdoba.**

Fuente: SIAR

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	3,25	4,30	8,68	10,11	12,99	18,26	18,38	20,56	16,69	14,23	9,11	5,54
2004	4,75	5,54	6,79	8,01	11,49	17,76	18,89	19,33	16,96	13,03	5,80	3,56
2005	-0,75	0,98	7,51	9,04	13,53	17,98	19,19	18,70	15,54	12,84	6,36	4,47
2006	2,95	4,00	7,91	11,33	13,91	16,59	18,87	19,12	17,08	14,20	10,34	3,47
2007	1,72	7,50	5,40	9,95	11,77	15,17	17,92	17,96	17,34	11,99	4,81	3,79
2008	4,37	6,79	5,18	8,80	11,92	15,40	17,65	18,21	16,41	12,44	4,35	3,15
2009	3,61	4,49	7,46	7,97	11,71	17,26	18,30	19,67	17,14	13,59	7,72	5,16
2010	4,96	6,52	8,37	10,60	11,60	16,10	20,08	20,38	17,13	11,20	7,05	5,33
2011	5,33	3,95	8,02	11,77	14,84	16,68	19,01	19,31	16,58	12,49	8,58	2,96
2012	0,91	-1,38	5,34	8,78	12,97	17,32	17,98	19,15	16,49	13,21	9,16	4,47
2013	4,37	3,28	8,28	9,69	10,79	14,44	18,57	18,70	17,57	12,66	3,22	1,27
2014	3,39	5,34	6,34	10,52	12,07	15,81	17,66	17,54	18,21	14,16	9,74	2,93
2015	0,71	3,74	5,70	10,52	13,12	16,15	19,82	19,57	15,66	13,91	6,97	4,76
2016	6,41	5,65	4,52	9,99	12,63	16,28	20,53	20,16	16,82	14,25	8,07	6,22
2017	1,99	7,11	6,73	9,52	13,30	18,41	18,58	18,84	15,11	13,78	6,00	3,28
2018	3,42	2,13	6,95	9,54	11,56	16,09	16,83	20,07	18,75	12,56	8,37	4,05
2019	1,13	3,07	5,43	7,93	12,63	14,64	19,05	18,53	17,08	11,62	7,63	7,25
2020	4,61	6,56	7,54	10,67	13,78	15,44	20,84	18,91	16,20	9,95	9,64	5,03
2021	2,95	7,56	6,36	10,97	11,80	15,83	18,86	19,83	17,19	12,46	4,96	4,76
2022	2,32	3,84	8,09	8,30	13,13	16,33	19,62	19,78	16,15	14,95	9,22	8,51
<b>MEDIA</b>	<b>3,12</b>	<b>4,55</b>	<b>6,83</b>	<b>9,70</b>	<b>12,58</b>	<b>16,40</b>	<b>18,83</b>	<b>19,22</b>	<b>16,81</b>	<b>12,98</b>	<b>7,36</b>	<b>4,50</b>

### 3. Cuenca hidrográfica del Tajo: Estación meteorológica de Guadalupe, Cáceres (Extremadura).

**Tabla 7. Temperaturas medias en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Guadalupe.**

Fuente: SIAR

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2003	7,13	8,17	9,84	10,49	16,07	20,00	24,10	26,22	23,67	14,53	10,72	7,95	14,91
2004	5,68	7,19	11,49	12,69	17,45	20,98	25,59	27,70	23,20	19,17	12,85	8,59	16,05
2005	8,51	7,51	10,67	14,03	18,77	23,64	26,54	27,81	24,61	16,67	11,87	7,28	16,50
2006	7,76	8,48	6,87	12,39	17,74	21,76	23,41	25,55	19,16	18,24	10,31	7,63	14,94
2007	7,98	8,02	9,98	11,63	15,72	19,65	24,84	24,14	21,73	15,75	11,71	7,72	14,90
2008	8,95	9,56	10,56	13,07	13,62	21,28	23,97	24,93	19,56	14,73	8,55	6,95	14,64
2009	5,18	8,52	13,16	11,59	18,46	22,92	25,20	26,74	20,91	18,17	11,54	6,59	15,75
2010	5,43	6,16	8,82	13,67	15,46	20,70	27,39	26,89	21,41	14,66	8,72	7,08	14,70
2011	6,38	9,07	9,08	16,03	18,07	21,97	24,54	25,12	22,67	19,24	10,85	7,60	15,89
2012	8,13	7,09	12,23	9,39	18,41	22,63	25,41	25,70	21,20	14,93	9,97	7,32	15,20
2013	6,48	6,51	7,84	12,08	14,67	21,00	26,58	26,81	22,61	16,24	9,30	7,84	14,83
2014	7,50	6,48	10,49	14,60	17,71	20,71	24,17	24,31	19,86	18,18	10,59	8,10	15,22
2015	7,76	6,41	11,67	13,92	20,09	23,54	28,07	25,08	20,11	15,51	13,26	11,20	16,38
2016	7,77	7,82	8,44	11,28	14,74	22,31	27,69	27,44	23,26	17,63	9,73	9,38	15,62
2017	6,93	8,78	10,81	15,89	18,76	25,19	26,44	26,52	22,78	20,94	12,26	7,86	16,93
2018	7,18	6,74	7,40	11,63	15,37	20,84	23,80	27,91	24,38	15,81	9,64	9,43	15,01
2019	8,43	10,39	12,45	11,38	19,10	21,36	25,84	25,68	22,20	17,12	9,10	10,13	16,10
2020	7,59	11,84	10,74	12,45	18,93	21,05	29,04	25,62	21,80	14,68	12,70	7,06	16,12
2021	6,19	9,74	11,47	13,09	17,24	21,62	25,50	26,76	20,63	18,05	9,36	9,60	15,77
2022	8,71	11,14	9,46	11,49	20,15	22,96	29,56	27,43	20,70	19,38	11,83	9,89	16,89
<b>MEDIA</b>	<b>7,28</b>	<b>8,28</b>	<b>10,17</b>	<b>12,64</b>	<b>17,33</b>	<b>21,81</b>	<b>25,88</b>	<b>26,22</b>	<b>21,82</b>	<b>16,98</b>	<b>10,74</b>	<b>8,26</b>	<b>15,61</b>

**Tabla 8. Temperaturas medias máximas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Guadalupe.**

Fuente: SIAR

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	11,34	12,14	15,45	16,44	21,29	23,85	31,85	32,91	25,16	20,67	13,62	11,70
2004	10,19	11,19	10,79	17,02	23,84	24,32	29,82	31,76	26,91	20,68	16,32	12,16
2005	9,47	10,60	14,13	19,12	19,68	24,36	30,05	31,35	28,47	21,91	14,43	12,43
2006	10,34	11,53	15,00	13,71	21,19	26,22	33,57	34,07	29,55	21,58	15,60	11,19
2007	10,42	10,56	13,78	15,76	19,93	23,88	29,84	29,24	29,44	19,47	15,39	10,42
2008	11,79	12,81	14,97	16,86	17,21	25,90	29,28	30,10	24,10	18,54	11,72	9,66
2009	7,62	11,90	17,08	16,04	23,35	27,56	30,57	31,91	25,50	22,04	14,69	9,23
2010	7,72	8,93	12,04	17,52	19,50	25,13	32,25	31,96	26,13	18,64	11,39	9,82
2011	8,96	12,16	12,49	20,12	22,39	26,65	29,85	30,53	27,68	23,52	13,44	10,80
2012	11,54	11,19	16,55	13,51	22,73	27,72	30,75	31,07	25,55	18,39	12,39	9,77
2013	9,19	9,67	10,79	15,62	19,05	25,85	31,57	31,93	27,27	19,67	12,62	10,70
2014	10,27	9,52	14,03	18,86	22,29	25,62	29,25	29,49	24,26	21,68	13,32	11,16
2015	11,04	9,80	15,40	17,94	24,84	28,36	33,21	30,16	24,91	18,91	16,52	13,74
2016	10,40	10,70	12,07	15,04	18,38	27,22	33,28	32,86	28,42	21,18	12,60	12,19
2017	10,05	11,50	14,93	20,24	23,19	30,74	31,81	31,58	27,55	25,21	15,83	10,79
2018	10,29	10,25	10,88	15,29	19,84	25,50	28,82	33,11	29,44	19,62	12,35	12,65
2019	11,69	14,00	16,50	15,32	23,89	26,77	31,05	31,06	27,04	21,41	11,70	12,69
2020	10,07	15,28	14,42	16,19	23,00	26,21	34,47	30,96	26,56	18,99	15,45	9,40
2021	8,91	12,76	15,24	16,90	21,93	26,51	30,68	32,00	25,23	22,00	12,42	12,17
2022	12,02	14,84	12,44	15,59	24,63	28,17	35,02	32,79	25,27	23,20	14,77	12,15
<b>MEDIA</b>	<b>10,17</b>	<b>11,57</b>	<b>13,95</b>	<b>16,65</b>	<b>21,61</b>	<b>26,33</b>	<b>31,35</b>	<b>31,54</b>	<b>26,72</b>	<b>20,86</b>	<b>13,83</b>	<b>11,24</b>

**Tabla 9. Temperaturas medias mínimas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Guadalupe.**

**Fuente: SIAR**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	4,39	4,24	5,98	10,51	15,01	16,36	22,32	19,71	20,19	15,69	8,63	3,46
2004	4,48	5,17	6,46	10,11	10,25	16,10	19,39	20,49	20,17	16,19	7,51	4,93
2005	4,37	5,24	9,01	11,33	13,92	16,45	21,20	21,39	21,61	16,87	7,19	5,63
2006	3,81	3,32	5,47	7,03	14,83	17,58	21,34	20,16	19,78	16,53	8,34	4,26
2007	4,62	6,07	6,26	8,25	11,67	15,38	19,45	18,62	17,13	12,53	8,34	4,93
2008	6,31	7,01	6,09	9,30	10,37	16,62	18,31	19,19	15,24	11,39	5,78	4,13
2009	2,71	5,34	9,29	7,10	13,52	17,97	19,28	21,17	16,69	14,37	8,52	3,48
2010	3,00	3,68	5,78	10,08	11,33	16,23	21,80	21,71	16,59	11,14	6,06	4,29
2011	3,82	6,07	6,06	12,36	13,93	16,79	18,68	19,41	17,87	15,35	8,54	4,46
2012	4,93	3,05	8,01	5,76	14,00	17,36	19,35	19,85	16,83	11,62	7,50	4,96
2013	4,09	3,57	5,27	8,51	10,15	16,00	21,32	21,23	18,12	13,22	6,09	5,23
2014	4,89	3,63	7,02	10,69	13,02	15,45	18,40	18,71	16,14	15,06	8,14	5,26
2015	4,48	3,04	7,85	10,13	14,80	18,58	22,30	19,69	15,63	12,75	10,27	8,76
2016	5,37	5,07	4,97	7,83	11,25	17,04	21,44	21,59	18,17	14,33	7,05	7,11
2017	3,90	6,24	6,90	11,45	14,37	19,34	20,59	21,16	17,98	16,95	8,82	5,13
2018	4,12	3,72	4,30	7,87	11,16	16,06	18,04	22,33	19,75	12,34	7,40	6,26
2019	5,50	6,97	8,34	7,69	13,71	15,52	20,27	19,91	17,67	13,25	6,66	7,62
2020	5,37	8,84	6,90	9,37	14,87	15,72	22,93	20,00	17,59	10,93	10,29	4,61
2021	3,70	7,00	7,86	9,82	12,46	16,45	19,68	21,23	16,55	14,58	6,49	7,01
2022	5,82	7,64	6,93	7,68	15,17	17,51	23,40	21,68	16,00	16,03	9,21	7,95
<b>MEDIA</b>	<b>4,84</b>	<b>5,24</b>	<b>6,74</b>	<b>9,14</b>	<b>12,99</b>	<b>16,73</b>	<b>20,47</b>	<b>20,46</b>	<b>17,85</b>	<b>14,10</b>	<b>7,84</b>	<b>5,47</b>

**4. Cuenca hidrográfica del Duero: Estación meteorológica de Aldearrubia, Salamanca (Castilla León).**

**Tabla 10. Temperaturas medias en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Aldearrubia.**

**Fuente: SIAR**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2003	2,52	3,83	7,55	10,65	15,87	17,40	21,92	19,53	16,19	13,74	6,98	3,44	11,63
2004	4,15	4,45	5,57	6,59	14,15	16,95	20,87	19,85	17,71	12,08	5,67	3,45	10,85
2005	5,71	6,11	7,79	9,93	11,98	17,52	20,47	18,14	16,83	12,51	8,42	3,93	11,61
2006	2,46	4,18	6,18	11,87	13,62	19,39	21,60	20,26	15,06	12,79	7,91	5,48	11,73
2007	5,22	5,20	5,34	11,32	13,61	18,67	21,80	19,78	15,62	11,91	6,42	5,64	11,71
2008	1,25	6,31	6,18	9,71	11,88	17,03	19,05	18,85	14,89	9,96	4,21	2,01	10,11
2009	3,23	3,98	7,73	8,41	14,91	18,79	19,38	20,84	16,59	13,05	8,50	4,36	11,65
2010	3,85	3,87	6,43	11,21	12,64	17,65	22,06	21,53	17,21	10,81	5,38	3,85	11,37
2011	3,73	4,15	6,85	12,65	15,57	17,59	19,11	19,83	16,93	11,87	7,82	3,26	11,61
2012	1,52	1,06	7,53	7,49	15,15	18,40	19,21	19,56	16,06	10,91	6,78	4,65	10,69
2013	4,14	3,55	6,57	8,93	10,98	16,55	21,79	19,75	16,42	12,26	5,57	1,83	10,70
2014	5,71	4,83	7,49	11,87	13,69	17,52	19,18	19,15	16,69	13,84	8,52	2,70	11,76
2015	1,46	3,35	7,08	11,32	15,63	19,39	21,69	19,26	14,91	11,98	6,91	5,44	11,53
2016	6,21	5,10	5,05	8,59	12,66	18,30	21,72	20,78	16,78	12,30	6,42	3,65	11,46
2017	1,45	6,18	8,14	12,16	16,42	21,44	20,67	20,23	15,85	13,69	5,67	2,93	12,07
2018	3,64	2,61	5,94	10,23	13,28	18,18	20,37	21,08	18,82	11,41	7,84	4,48	11,49
2019	1,40	4,60	8,00	9,40	14,80	17,60	21,30	20,00	16,10	12,30	7,60	5,50	11,55
2020	3,80	6,80	7,80	11,10	16,10	17,90	22,80	19,60	16,40	10,50	8,60	4,90	12,19
2021	1,70	7,70	7,70	10,60	13,90	18,00	19,70	20,10	16,20	12,10	4,70	5,80	11,52
2022	2,80	4,70	7,80	9,30	16,90	19,10	23,00	21,80	16,10	14,40	8,70	7,80	12,70
<b>MEDIA</b>	<b>3,30</b>	<b>4,63</b>	<b>6,94</b>	<b>10,17</b>	<b>14,19</b>	<b>18,17</b>	<b>20,88</b>	<b>20,00</b>	<b>16,37</b>	<b>12,23</b>	<b>6,93</b>	<b>4,25</b>	<b>11,50</b>

**Tabla 11. Temperaturas medias máximas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Aldearrubia.**

**Fuente: SIAR**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	6,59	11,42	14,53	14,07	22,41	26,26	31,19	31,96	26,31	19,82	11,11	7,80
2004	6,71	9,61	16,18	17,42	17,66	27,25	31,77	30,40	25,59	20,20	13,48	7,19
2005	10,49	13,40	12,65	18,87	22,55	25,05	28,80	30,38	27,43	17,51	14,16	11,71
2006	11,25	14,87	15,61	13,98	19,96	25,22	28,76	29,76	22,80	21,51	13,00	9,68
2007	9,69	12,95	11,64	20,11	20,25	25,07	31,40	31,68	26,60	24,16	13,96	8,31
2008	10,57	13,30	13,11	16,05	17,63	24,63	27,61	27,89	22,92	17,23	9,30	7,28
2009	7,04	10,90	16,65	15,02	22,31	26,18	28,13	30,01	24,76	20,92	13,62	8,61
2010	7,74	8,54	11,93	17,93	19,13	24,72	30,92	29,64	24,37	17,82	11,04	8,67
2011	7,59	11,27	12,57	19,84	23,08	25,85	27,51	28,80	26,89	21,64	12,88	9,61
2012	7,71	9,39	16,23	12,52	22,29	26,23	28,49	29,14	24,43	18,43	11,88	9,61
2013	9,49	9,39	11,60	14,97	17,17	24,36	30,66	29,20	25,36	18,82	11,10	8,90
2014	10,25	9,66	14,57	18,72	21,07	25,02	27,38	27,96	24,62	22,21	13,38	7,99
2015	8,69	8,59	15,18	17,87	23,40	27,52	31,39	28,40	23,71	18,51	14,56	12,71
2016	10,56	9,70	11,65	13,88	18,66	26,06	30,77	30,38	26,32	20,51	12,00	9,69
2017	9,16	12,42	16,01	21,11	23,85	30,00	29,80	29,76	25,54	24,06	13,86	8,51
2018	8,61	8,62	10,67	16,34	19,86	25,05	28,71	31,08	28,43	19,07	13,10	11,60
2019	8,20	14,50	16,50	16,00	22,90	25,90	30,40	29,01	24,80	20,00	11,80	11,00
2020	9,10	14,90	14,60	16,60	23,90	25,70	32,30	29,20	25,60	18,30	15,20	9,60
2021	7,30	13,00	15,20	16,90	21,00	26,00	28,60	30,30	23,60	20,60	10,90	11,60
2022	11,10	13,90	12,90	16,20	24,30	27,10	33,40	31,60	24,50	22,50	14,50	11,80
<b>MEDIA</b>	<b>8,89</b>	<b>11,52</b>	<b>14,00</b>	<b>16,72</b>	<b>21,17</b>	<b>25,96</b>	<b>29,90</b>	<b>29,83</b>	<b>25,23</b>	<b>20,19</b>	<b>12,74</b>	<b>9,59</b>

**Tabla 12. Temperaturas medias mínimas en el periodo 2003-2022 de la estación meteorológica de Aldearrubia.**

**Fuente: SIAR**

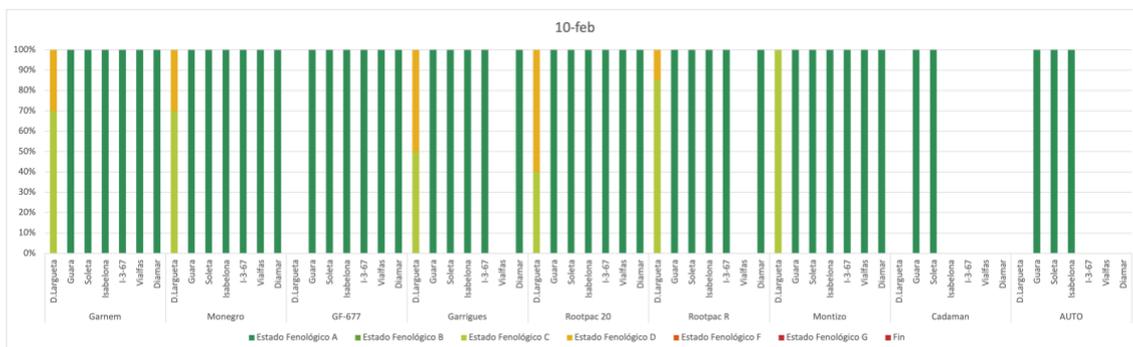
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	0,68	-3,35	-1,00	2,45	7,89	11,74	11,89	11,96	10,70	4,68	3,09	-1,76
2004	-4,33	-2,40	0,85	3,33	6,61	7,79	11,90	10,78	7,98	5,70	3,41	0,88
2005	3,57	-0,61	1,91	2,65	7,34	9,64	12,85	11,10	7,80	4,60	3,01	-0,11
2006	-4,75	1,20	-1,70	6,11	6,56	11,20	10,62	10,68	9,80	4,31	-0,69	0,40
2007	-0,94	-3,22	1,70	4,65	6,16	10,59	12,93	11,90	8,50	7,22	3,25	4,20
2008	-1,33	0,10	-0,66	3,13	6,81	9,41	9,84	9,81	7,15	3,61	-0,54	-2,51
2009	-0,30	-1,95	-0,63	1,58	7,18	11,33	10,16	11,98	8,50	5,73	3,12	0,02
2010	0,02	-0,62	1,25	4,18	5,61	10,44	12,91	12,81	10,58	4,23	0,15	-0,17
2011	0,41	-2,15	1,49	5,48	7,76	9,00	10,15	11,17	7,77	3,15	3,16	-1,91
2012	-3,44	-6,51	-1,33	2,91	7,35	9,65	9,81	10,16	8,37	4,63	1,88	0,12
2013	-0,57	-1,46	2,11	2,49	4,45	8,80	12,52	10,52	8,90	6,09	0,13	-3,48
2014	1,68	0,12	0,56	4,75	6,03	8,93	10,90	10,32	9,71	6,87	3,47	-1,85
2015	-4,30	-1,93	-0,88	4,97	7,29	11,06	11,68	10,44	6,49	5,43	0,96	-0,73
2016	2,57	1,09	-0,99	3,49	6,60	9,75	12,39	11,49	7,96	5,50	1,37	-0,19
2017	-4,77	0,81	0,83	2,55	8,34	12,73	11,22	10,78	6,67	3,94	-1,01	-1,92
2018	-0,84	-3,38	1,81	4,33	6,86	11,75	11,79	11,91	10,30	4,62	3,09	-1,22
2019	-4,40	-3,40	-0,70	2,60	6,10	8,70	12,10	11,30	8,50	5,60	3,40	0,80
2020	-0,20	-0,60	1,70	6,10	8,60	9,60	13,00	10,10	8,00	3,30	3,10	-0,10
2021	-2,90	3,20	0,20	4,60	6,50	10,20	10,60	10,60	9,30	4,30	-0,60	0,40
2022	-4,20	-3,20	2,40	2,20	8,60	10,60	12,90	12,30	8,30	7,20	3,20	4,00
<b>MEDIA</b>	<b>0,00</b>	<b>-1,41</b>	<b>0,45</b>	<b>3,73</b>	<b>6,93</b>	<b>10,15</b>	<b>11,61</b>	<b>11,10</b>	<b>8,56</b>	<b>5,03</b>	<b>1,85</b>	<b>-0,26</b>

## **ANEJO 2: SEGUIMIENTO DE LOS ESTADOS FENOLÓGICOS**

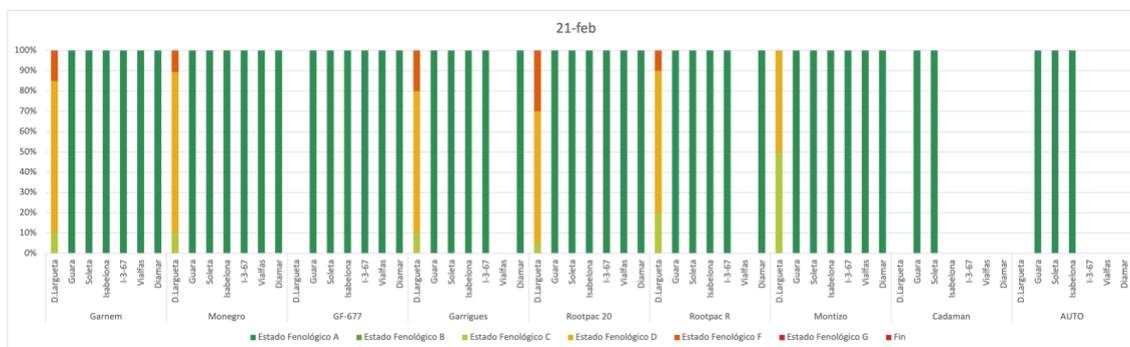
### **ÍNDICE DE FIGURAS**

1. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 10/02/2019.
2. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 21/02/2019.
3. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 01/03/2019.
4. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 08/03/2019.
5. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 18/03/2019.
6. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 25/03/2019.
7. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 10/02/2020.
8. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 21/02/2020.
9. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 25/02/2020.
10. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 06/03/2020.
11. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 10/03/2020.
12. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 19/03/2020.
13. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 26/03/2020.
14. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 02/04/2020.

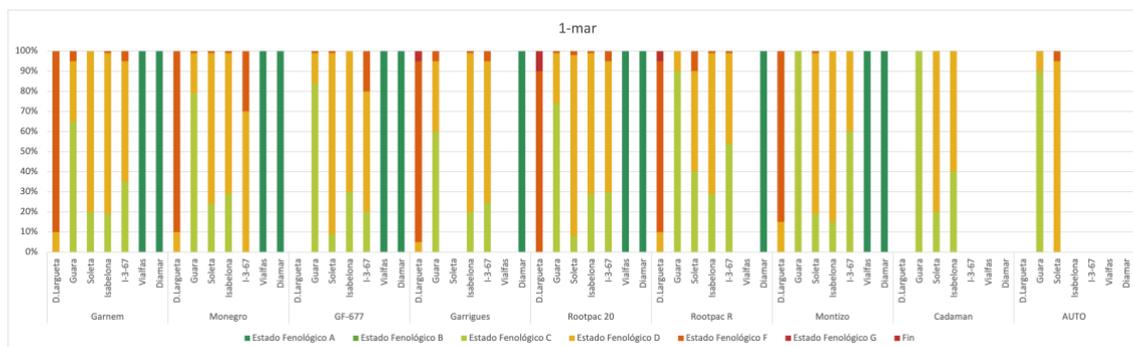
## SEGUIMIENTO FENOLÓGICO AÑO 2019



**Figura 1. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 10/02/2019.**



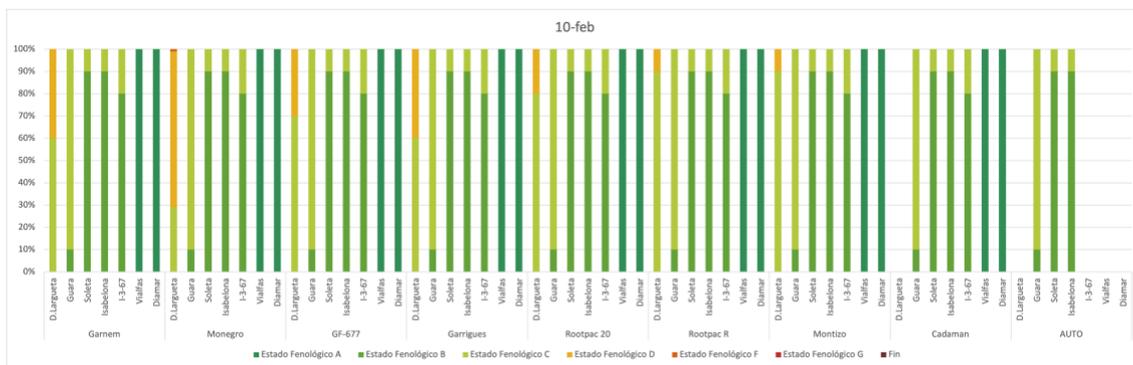
**Figura 2. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 21/02/2019.**



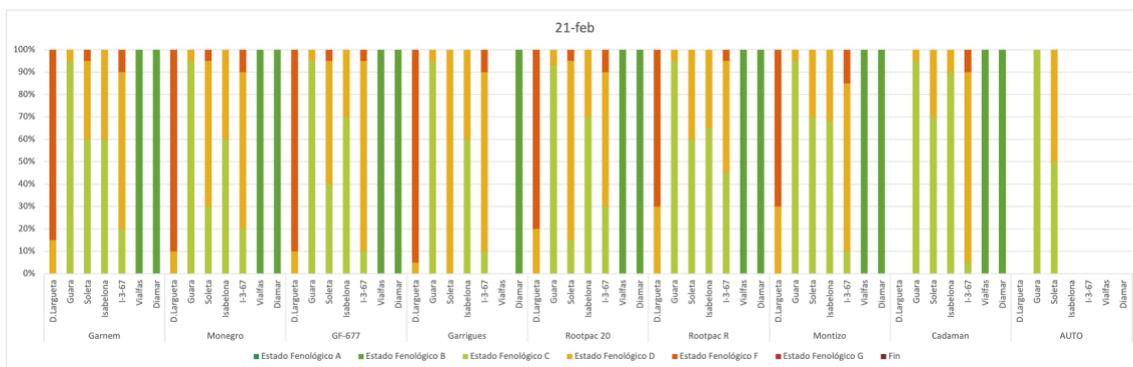
**Figura 3. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 01/03/2019.**



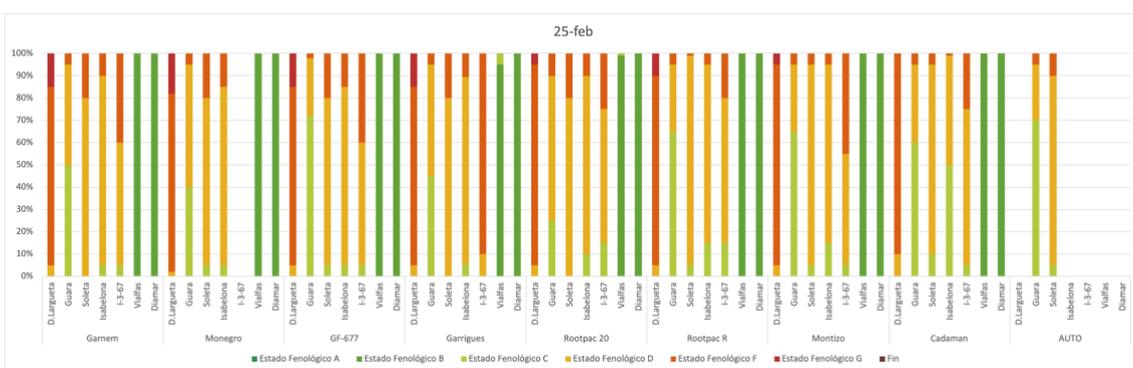
## SEGUIMIENTO FENOLÓGICO AÑO 2020



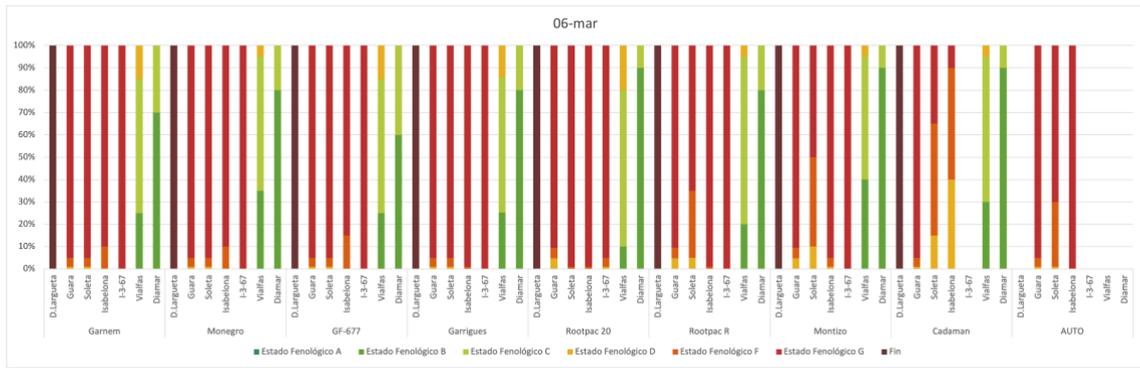
**Figura 7. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 10/02/2020.**



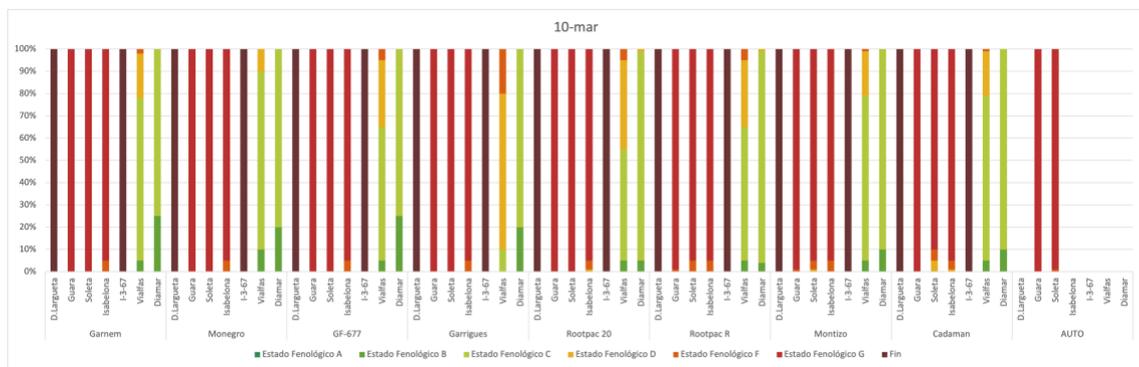
**Figura 8. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 21/02/2020.**



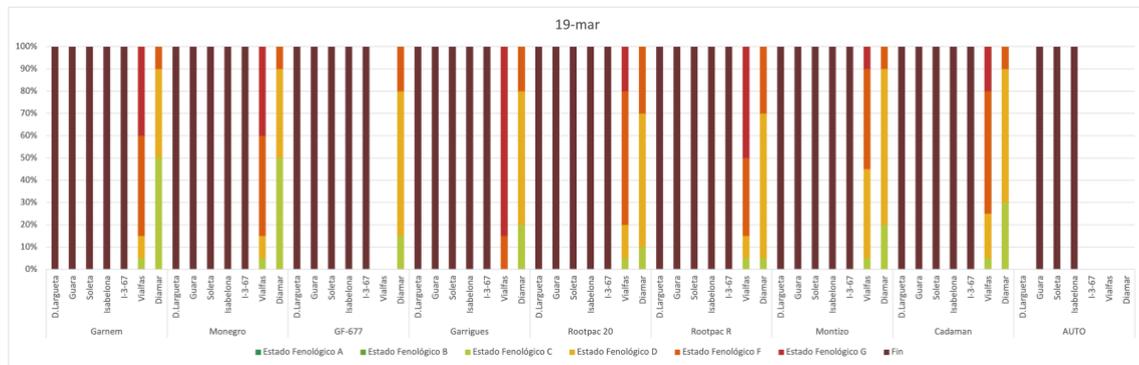
**Figura 9. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 25/02/2020.**



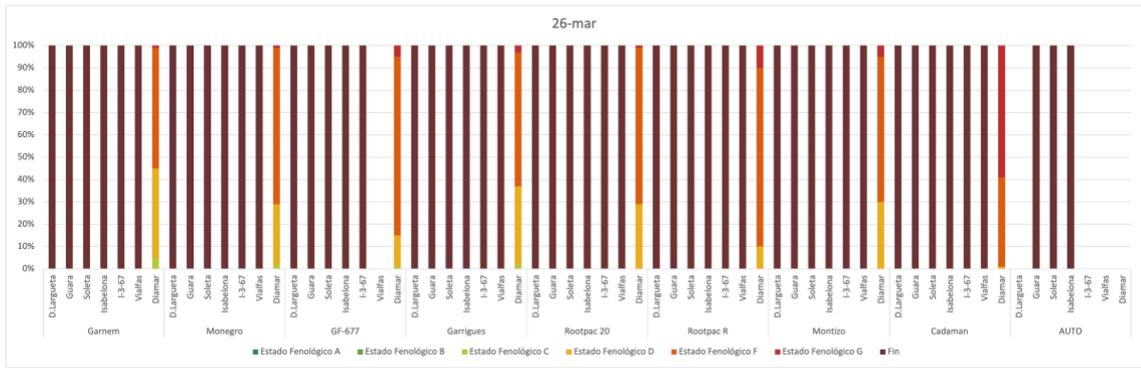
**Figura 10. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 06/03/2020.**



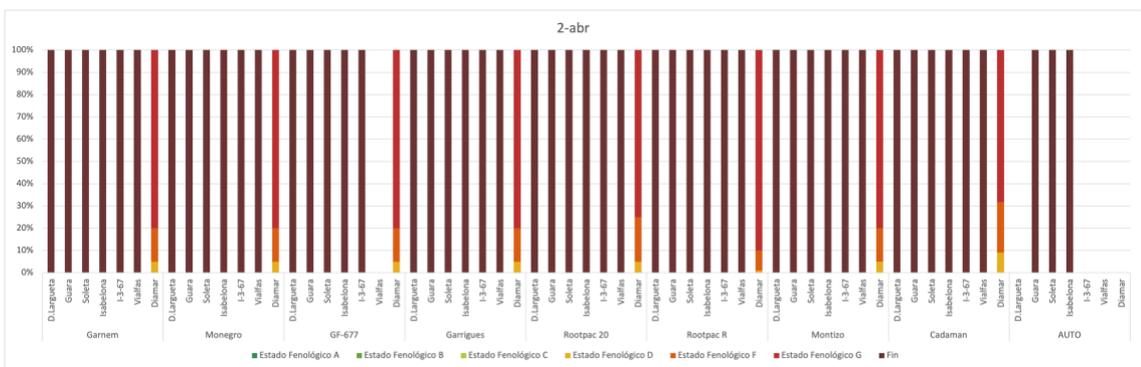
**Figura 11. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 10/03/2020.**



**Figura 12. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 19/03/2020.**



**Figura 13. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 26/03/2020.**



**Figura 14. Seguimiento fenológico de las variedades de estudio en la Finca “El Vedado bajo del Horno” el día 02/04/2020.**