

# Estudio preliminar de la respuesta fenológica de los principales cultivares de *Pistacia vera* L. en España frente al cambio climático

## Preliminary study of the phenological response of *Pistacia vera* L. main cultivars in Spain to climate change

Stefano Armadoro<sup>1,\*</sup>, Sara Rodrigo-Gómez<sup>2</sup>, Luca Armadoro<sup>3</sup> y Julián Guerrero<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Empresa asesoramiento técnico "Pistacium Mediterraneo". Ciudad Real. España

<sup>2</sup>Centro de Investigación Agroambiental "El Chaparrillo". Instituto Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario y Forestal (IRIAF). Ciudad Real. España

<sup>3</sup>Facultad Agraria. Università della Tuscia. Viterbo. Italia

<sup>4</sup>Empresa de asesoramiento agrotécnico "OMNIA Pistacho". Ciudad Real. España

(\*E-mail: pistacium.mediterraneo@gmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.31307>

### RESUMEN

España ha sufrido un aumento de temperatura (+1,3°C) superior a la media mundial desde la época pre-industrial. Para un cultivo leñoso como el pistachero (*P. vera* L.), el calentamiento global puede suponer cambios en la floración de hembras y machos. Siendo un cultivo en plena expansión en España con más de 50.000 ha, 35.000 implantadas en los últimos 5 años; problemas potenciales de polinización tendrían un impacto negativo en las nuevas plantaciones. Por lo tanto, es importante considerar estas variaciones climáticas al elegir el cultivar. Este estudio consiste en una observación de las variaciones fenológicas en los principales cultivares teniendo en consideración datos climáticos y fenológicos de 5 años en dos periodos separados 12 años. Se ha profundizado en las características fenológicas del pistachero, pudiendo sugerir las mejores combinaciones de los cultivares comunes. Se han detectado variaciones en la época de floración, sobre todo en machos con un adelantamiento en la aparición de esta fase y, especialmente, un acortamiento del periodo útil para la polinización en las hembras. El aumento de temperatura media registrada en estos 18 años (alrededor de +0,4 C°) ha motivado este estudio que podría ser una herramienta para el cultivo futuro, que incluye la posibilidad de un ulterior aumento de las temperaturas medias en los próximos años.

**Palabras clave:** cambio climático, fenología, pistacho

### ABSTRACT

Spain has experienced a remarkable 1.3°C temperature increase, higher than the average world temperature increase registered since pre-industrial period. This trend for a crop such as pistachio (*P. vera* L.) can lead to changes in the flowering of females and males). Being a crop in full expansion in Spain with more than 50,000 ha, of which 35,000 were planted in the last 5 years; potential pollination problems could have negative impacts on new pistachio fields. Therefore, it is very important to consider these climatic issues when choosing the cultivar. This work studies the phenological variations in the main cultivars taking into account climatic and phenological data of four years in two-time frames separated by 18 years. Phenological characteristics of pistachio were studied deeply, suggesting the best combinations of the most common cultivars. Variations in the flowering season were observed, especially in males where an early flowering has been noted and, more strongly, a shortening of the useful period for pollination. The average temperature increase registered in these 18 years (around +0.4 C°) has provided the basis for this study, which could be a useful tool for farmers in the future since we could possibly witness a further increase in average temperatures in next years.

**Keywords:** climate change, phenology, pistachio

## INTRODUCCIÓN

El pistacho (*Pistacia vera* L.) es un cultivo leñoso dioico que se ha implantado fuertemente en la última década en la península ibérica, encontrando muchos desafíos en cuanto a adaptación climática y edafológica. Actualmente ocupa más de 50.000 ha en España (MAPA, 2021), cifra que sitúa a España como el quinto país con mayor superficie a nivel mundial, y primer país a nivel europeo por detrás de Italia y Grecia (FAOstat, 2022).

En el Centro de Investigación Agroambiental (CIAG) “El Chaparrillo” de Ciudad Real (España) se lleva estudiando este cultivo desde hace más de 30 años y tras 10 años de pruebas se empezó a considerar como un cultivo apto para el interior de la España peninsular (Couceiro- López *et al.*, 2017). Uno de los primeros desafíos era descubrir si el clima semi-continental del interior de la península ibérica podía ser apto para permitir un desarrollo fenológico adecuado a su uso como nueva alternativa en la producción agrícola. Por ello, en el CIAG “El Chaparrillo” se implantaron paulatinamente hasta un total de 55 variedades y se realizó un gran estudio fenológico junto con la sistematización de los datos de la estación meteorológica de la finca experimental.

El cambio climático parece afectar a varios procesos en las plantas, tales como el crecimiento vegetativo, floración, fructificación y calidad de los frutos. Para frutos obtenidos por polinización cruzada, como los pistachos, un insuficiente periodo de frío podría reducir la polinización llevando al cultivo a la pérdida de cosecha (Haokip *et al.*, 2020). Al estar la fenología fuertemente influida por la temperatura del aire, las observaciones fenológicas a largo plazo en lugares concretos que se combinen con datos meteorológicos pueden aportar información útil sobre la respuesta de las plantas al cambio climático (Delgado *et al.*, 2021).

Muchos países líderes en producción mundial de pistacho, como Irán, Túnez y EEUU, están ya sufriendo la falta de horas de frío necesarias para una correcta floración y diferenciación, y han tenido que recurrir a nuevas variedades o a migrar el cultivo de unas áreas a otras con más horas frío (Benmoussa *et al.*, 2020; Mahmoudi Meimand *et al.*, 2022). Tal y como reflejan Lorite *et al.* (2020), existe una incertidumbre debida a la escasez de observaciones de los

efectos del cambio climático en la fenología de los cultivos de la península ibérica.

Por todo ello, este estudio pretende comprobar la influencia del clima en posibles cambios fenológicos mediante, por un lado, la sistematización de los datos climáticos correspondientes a dos periodos de tiempo concretos y, por otro, la comparativa de las observaciones fenológicas en dichos periodos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se ha realizado llevando a cabo un estudio climático y una observación fenológica.

### *Estudio climático*

Los datos climáticos recopilados van desde el año 2000 hasta el 2021 y han sido siempre obtenidos de la estación meteorológica situada en la misma finca donde se ha realizado el estudio fenológico.

La estación meteorológica (situada en la finca Entresierra de Ciudad Real, en las coordenadas geográficas 39,0325, -3,9470) proporcionó: temperaturas horarias, temperatura máxima (TMA), temperatura media (Tm) y temperatura mínima (Tma).

Para analizar las relaciones con la fenología se han utilizado solamente los datos climáticos de dos periodos: de 2000 a 2004 y de 2016 a 2021.

Para poder profundizar en los eventuales cambios a lo largo de las décadas en la fenología del pistachero se han calculado las horas frío (HF) realizando una estimación con el modelo Utah (Anderson y Seeley, 1992, 1993; Richardson *et al.*, 1974) utilizando una temperatura basal de 7 °C.

El cálculo realizado ha sido el siguiente:

$$HF = \sum_0^{24} \left( \frac{(7 - tma)}{(TMA - tma)} * 24 \right)$$

Para la estimación de las unidades de calor o grados días (GD) se ha utilizado el cálculo de los GDD (Kaya, 2010) utilizando las temperaturas máximas y mínimas que exceden de la temperatura basal. (McMaster & Wilhelm, 1997; Rulm *et al.*, 2010; Elnesr

& Alazba, 2016). Como temperatura basal se ha empleado 4 °C para 'Kerman' y 8 °C para 'Peter', es decir, se han empezado a contar GD a partir de los 4 °C. Los cálculos empleados han sido los siguientes:

$$Tave = \frac{TMA + Tma}{2}$$

$$GDD = \sum_{i=1}^n (Tave - Tb)$$

Donde: *Tave* es la temperatura media diaria

TMA es la temperatura máxima diaria

Tma es la temperatura mínima diaria

Tb es la temperatura basal

### Estudio fenológico

#### Plantas examinadas y periodo de observación

El estudio se ha llevado a cabo en la finca experimental "La Entresierra" perteneciente al CIAG "El Chaparrillo", parte del Instituto Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario y Forestal de Castilla-La Mancha (IRIAF). Se ha realizado la observación en la parcela de variedades (coordenadas geográficas 39,0298, -3,9410).

De todos los cultivares observados (>45), el estudio comparativo de la fenología se ha concentrado

en los 14 de mayor interés comercial: 6 hembras ('Mateur', 'Aegina', 'Avdat', 'Larnaka', 'Kastel' y 'Kerman') y 8 machos ('Egino', 'C. Especial', 'Mateur M.', 'Guerrero', 'Chaparrillo', 'Peter', 'Askar' y 'Nazar'). Para el estudio de la fenología relacionada con los datos climáticos se han utilizado solo dos variedades: 'Kerman', el cultivar femenino más plantado en España, y su respectivo macho 'Peter' (Guerrero *et al.*, 2014).

La observación se ha llevado a cabo en dos momentos: desde el año 2001 hasta el 2004 (que para simplificar llamaremos "periodo 1") y con una distancia de 12 años, desde 2017 hasta el 2021 (que llamaremos "periodo 2"), empezado cada año el 1 de marzo y terminando el 15 de mayo.

#### Sistema utilizado

Se ha realizado el estudio fenológico de las variedades de pistacho en los periodos 1 y 2 utilizando el mismo sistema de fases fenológicas empleadas por Guerrero *et al.* (2008). Dicho sistema divide las diferentes fases de la floración en letras empezando por la yema dormida (A) hasta el cuajado del fruto (F) para las hembras (Tabla 1), mientras que para los machos (Tabla 2) empieza por la yema dormida (A) y termina con la caída de los racimos (G).

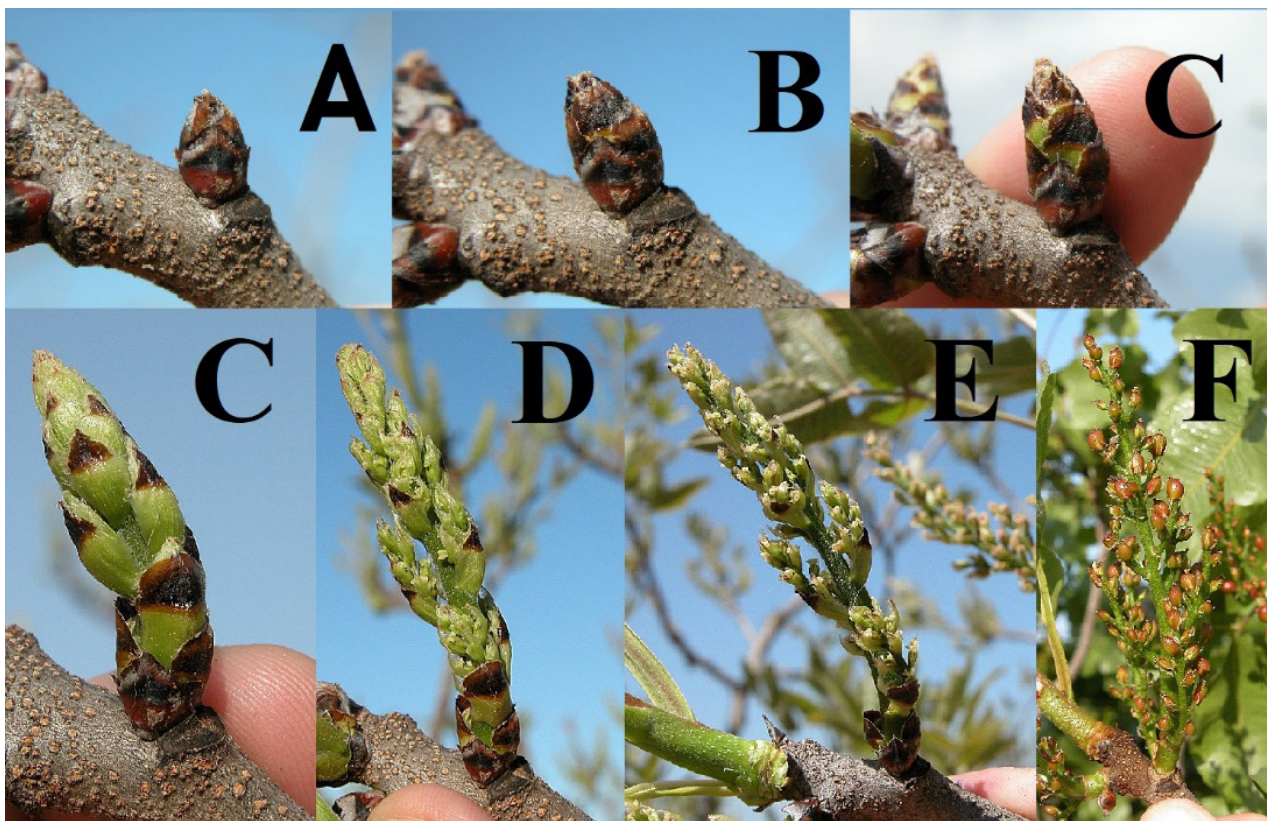
Aunque las características de cada fase son inequívocas, a través de las fotos es posible unificar aún más la interpretación y recopilación de datos. Se pueden observar las fases de la floración para las hembras (Figura 1) y para los cultivares masculinos (Figura 2).

**Tabla 1** - Estados fenológicos de la inflorescencia femenina de *Pistacia vera* L. variedad Kerman (ver Figura 1)

| Inflorescencia femenina |   |                    |
|-------------------------|---|--------------------|
| Estado                  | Descripción   | Etiqueta del valor |
| A                       | Yema dormida  | Parada             |
| B                       | Yema hinchada   | Movimiento         |
| C                       | Crecimiento longitudinal Separación de brácteas                     | Movimiento         |
|                         | Brácteas claramente separadas                                       | Inicio recepción   |
| D                       | Se observa el extremo de los racimos aparecer entre las brácteas    | Inicio recepción   |
|                         | Racimos todavía replegados  | Plena recepción    |
| E                       | Los racimos comienzan abrirse                                       | Plena recepción    |
|                         | Racimos totalmente desplegados                                      | Plena recepción    |
| F                       | Se observan ya los frutos recién cuajados de color rojizo           | Final recepción    |
|                         | El mesocarpio del fruto comienza a amarillear por la base del fruto | Final recepción    |
|                         | Mesocarpio totalmente amarillo                                      | Final recepción    |

**Tabla 2** - Estados fenológicos de la inflorescencia masculina de *Pistacia vera* L. variedad Peter (ver Figura 2)

| Inflorescencia masculina |   |                           |
|--------------------------|---|---------------------------|
| Estado                   | Descripción   | Etiqueta del valor        |
| A                        | Yema dormida  | Parada                    |
| B                        | Yema hinchada<br>El crecimiento de la yema se hace más patente                  | Movimiento                |
| C                        | Las brácteas comienzan a separarse y a hacerse más ostensibles                  | Movimiento                |
| D                        | Comienzan a apreciarse los estambres entre las brácteas                         | Movimiento                |
|                          | Los estambres se aprecian claramente. Se siguen observando las brácteas         | Movimiento                |
| E                        | Estambres visibles, pero sin desplegarse totalmente<br>Desaparecen las brácteas | Movimiento                |
|                          | Despliegue de los racimos de estambres  | Inicio de la polinización |
| F                        | Inicio del amarilleo de los estambres   | Plena emisión de polen    |
| G                        | Caída de racimos  | Final de la polinización  |

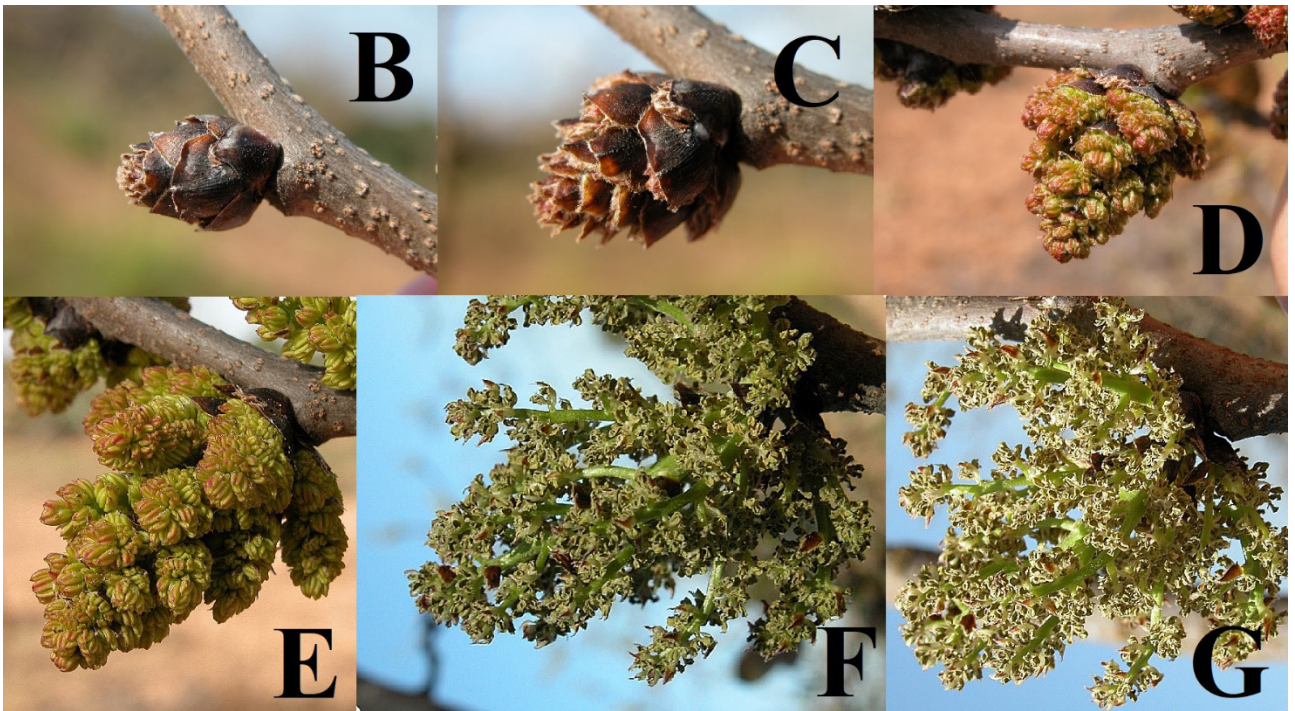


**Figura 1** - Detalles de los estados de desarrollo de la inflorescencia femenina de *Pistacia vera* L. variedad 'Kerman'.

#### Recopilación de datos

Para la toma de los datos fenológicos se han observado 3 árboles de cada variedad cada árbol ha

sido observado diariamente, examinando 10 ramas seleccionadas aleatoriamente a distintas alturas y exposición.



**Figura 2** - Detalles de los estados de desarrollo de la inflorescencia masculina de *Pistacia vera* L. variedad 'Peter'.

El dato del estado fenológico se toma singularmente por cada árbol con un sistema de 3 letras, correspondiente a la fase fenológica observada. Si la floración del pistachero es poco homogénea, se ha procedido señalando en qué porcentaje las flores de la planta se encuentran en una determinada fase como se observa en la Tabla 3.

La fórmula es:

$$\text{La fórmula es: } ISF = \frac{N_{dsm}}{NDFh}$$

**Tabla 3** - Sistema de recolección, clasificación e interpretación de los datos fenológicos

| Ejemplo nota | Significado  | El individuo se considera |
|--------------|--|---------------------------|
| DDD          | La planta se encuentra 100% en el estado D   | En fase D                 |
| DDE          | Las flores están aproximadamente al 75% en fase D y al 25% en fase E   | En fase D                 |
| CDE          | El 50% de las flores está en fase D, mientras el 25% está aún fase C y el 25% restante, más adelantado, en fase E. | En fase D                 |
| DE           | Las flores de la planta están el 50% en fase D y el otro 50% en fase E.  | A mitad entre fase D y E  |

### Índice de sincronización fenológica

El FSI, o Phenological Synchronization Index, es un índice que describe la capacidad de polinización entre una variedad productiva y un polinizador (Guerrero *et al.*, 2014).

Donde  $N_{dsm}$  es el número de días de solapamiento de los cultivares macho y hembra, mientras  $NDFh$  son los días receptivos totales de la hembra. El resultado es un número de 0 a 1, donde 0 es cero solapamientos y 1 es solapamiento total entre las variedades.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se podrían dividir en dos apartados: el estudio fenológico comparativo de las principales variedades comerciales, y el estudio fenológico comparativo en relación a los datos climáticos.

### Estudio fenológico de las 14 variedades comerciales

Con datos fenológicos observados en los periodos 1 y 2, se ha realizado una tabla de comparación con las fechas medias de inicio de recepción de polen (para las hembras) y de inicio emisión de polen (machos).

Es posible observar que entre las variedades hembras (Tabla 4), los cvs 'Aegina' y 'Mateur' han adelantado su fecha media de floración 2,5 días, mientras que en las otras variedades no se han apreciado variaciones aparentes en la fecha de inicio. Sin embargo, sí se han observado diferencias patentes en la fecha media de inicio de la fase de plena floración "E", más evidentes en los cvs 'Mateur' y

'Kastel' con un adelantamiento en el periodo 2 de 5 y 3 días respectivamente en relación al periodo 1. La variación más evidente es la duración media de la fase E y en general la duración media de todo el periodo receptivo (D+E) registrado en el periodo 2, que ha disminuido con respecto al periodo 1: 6,5 días en 'Mateur', 4,5 días en 'Larnaka', y 4 días en 'Kerman' y 'Kastel'.

Para los cultivares masculinos (Tabla 5) se han apreciado variaciones en la fecha media de inicio de floración con un adelantamiento en el periodo 2 respecto al periodo 1 en 'Egino' y 'Peter' (7 días), en 'Chaparrillo' (5 días) y, en mayor medida, en 'Guerrero' con 11 días de adelantamiento. En la fecha media de inicio de la fase de máxima emisión de polen (fase F) se han registrado adelantamientos más marcados en el periodo 2 con respecto al periodo 1, correspondientes a 15 días de adelantamiento en 'Guerrero', 11 días en 'Egino' y 7 días para 'Peter' y 'Chaparrillo'. Para los machos no parece haber disminuido el periodo total de la plena floración, de lo que se podría deducir que no habría disminución del periodo de emisión de polen.

**Tabla 4** - Fases de floración de los cultivares femeninos en los dos periodos de observación

|               | MARZO |    |    |    |    | ABRIL |    |    |    |    | MAYO |   |    |
|---------------|-------|----|----|----|----|-------|----|----|----|----|------|---|----|
|               | 10    | 15 | 20 | 25 | 30 | 5     | 10 | 15 | 20 | 25 | 30   | 5 | 10 |
| MATEUR 99-04  | A     |    | B  | C  | D  |       | E  |    |    | F  | G    |   |    |
| MATEUR 17-21  | A     | B  | C  |    | D  | E     |    | F  |    |    | G    |   |    |
| AEGINA 99-04  | A     |    | B  | C  | D  | E     |    |    | F  | G  |      |   |    |
| AEGINA 17-21  | A     | B  | C  |    | D  | E     |    | F  |    |    | G    |   |    |
| LARNAKA 99-04 | A     |    | B  | C  | D  | E     |    |    | F  | G  |      |   |    |
| LARNAKA 17-21 | A     | B  | C  |    | D  | E     |    | F  |    |    | G    |   |    |
| AVDAT 99-04   | A     |    | B  | C  | D  | E     |    |    | F  | G  |      |   |    |
| AVDAT 17-21   | A     | B  | C  |    | D  | E     |    | F  |    |    | G    |   |    |
| KASTEL 99-04  | A     |    |    | B  | C  | D     | E  |    | F  | G  |      |   |    |
| KASTEL 17-21  | A     | B  | C  |    |    | D     | E  |    | F  | G  |      |   |    |
| KERMAN 99-04  | A     |    |    | B  | C  | D     | E  |    | F  | G  |      |   |    |
| KERMAN 17-21  | A     | B  | C  |    |    | D     | E  |    | F  | G  |      |   |    |

**Tabla 5** - Fases de la floración de los cultivares masculinos en los dos periodos de observación

|                    | MARZO |    |    |    |    | ABRIL |    |    |    |    | MAYO |   |    |    |
|--------------------|-------|----|----|----|----|-------|----|----|----|----|------|---|----|----|
|                    | 10    | 15 | 20 | 25 | 30 | 5     | 10 | 15 | 20 | 25 | 30   | 5 | 10 | 15 |
| "C" ESPECIAL 99-04 |       | B  | C  | D  | E  | F     |    |    |    |    |      |   | G  |    |
| "C" ESPECIAL 17-21 | B     | C  | D  |    |    | E     | F  |    |    |    |      |   | G  |    |
| MATEUR M. 99-04    |       | B  | C  | D  | E  | F     |    |    |    |    |      |   | G  |    |
| MATEUR M. 17-21    | B     | C  | D  |    |    | E     | F  |    |    |    |      |   | G  |    |
| ASKAR 99-04        |       | B  | C  | D  | E  | F     |    |    |    |    |      |   | G  |    |
| ASKAR 17-21        | B     | C  | D  |    |    | E     | F  |    |    |    |      |   | G  |    |
| NAZAR 99-04        |       | B  | C  | D  | E  | F     |    |    |    |    |      |   | G  |    |
| NAZAR 17-21        | B     | C  | D  |    |    | E     | F  |    |    |    |      |   | G  |    |
| EGINO 99-04        |       | B  | C  | D  |    | E     | F  |    |    |    |      |   | G  |    |
| EGINO 17-21        | B     | C  | D  |    |    | E     | F  |    |    |    |      |   | G  |    |
| PETER 99-04        | A     | B  | C  | D  | E  | F     |    |    |    |    |      |   | G  |    |
| PETER 17-21        | B     | C  | D  | E  | F  |       |    |    |    |    |      |   | G  |    |
| CHAPARRILLO 99-04  | A     | B  | C  | D  | E  | F     |    |    |    |    |      |   | G  |    |
| CHAPARRILLO 17-21  | A     | B  | C  | D  | E  | F     |    |    |    |    |      |   | G  |    |
| GUERRERO 99-04     | A     | B  | C  | D  | E  | F     |    |    |    |    |      |   | G  |    |
| GUERRERO 17-21     | A     | B  | C  | D  | E  | F     |    |    |    |    |      |   | G  |    |

Se ha calculado el índice ISF para la variedad 'Kerman' con sus principales polinizadores y 'Askar', comparando el periodo 1 (Guerrero, 2011) con el periodo 2 (Tabla 6) y se ha observado que la variedad tardía 'Chaparrillo' ha disminuido su ISF en el periodo 2 mientras que para otras variedades como 'Askar' y 'Egino' ha aumentado, haciendo que la variedad 'Askar' se pueda considerar una variedad con bajo ISF para 'Kerman'.

La variedad macho 'Guerrero' se ha confirmado como el polinizador con el más alto índice ISF para el cultivar 'Kerman'.

Con los datos expuestos se complementa la información presente en Guerrero *et al.* (2014) sobre los cultivares 'Guerrero' y 'Chaparrillo'.

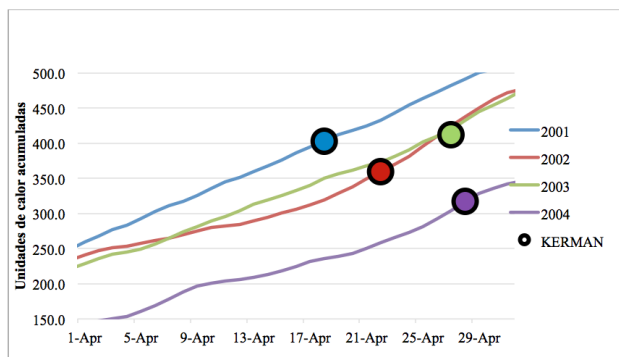
**Tabla 6** - Índice ISF para la variedad 'Kerman' con diferentes variedades macho en los dos periodos de observación

| Variedad Macho | 'Kerman'  |           |
|----------------|-----------|-----------|
|                | Periodo 1 | Periodo 2 |
| 'Askar'        | 0,07      | 0,33      |
| 'Chaparrillo'  | 0,84      | 0,74      |
| 'Egino'        | 0,38      | 0,47      |
| 'Guerrero'     | 0,84      | 0,84      |
| 'Peter'        | 0,61      | 0,64      |

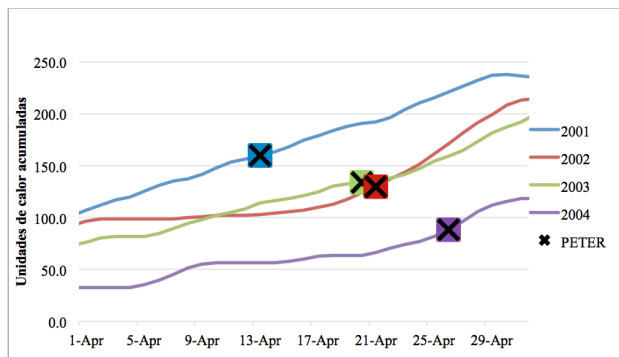
### Estudio fenológico comparativo con los datos meteorológicos

Para determinar la relación de la fenología de la hembra 'Kerman' y el macho 'Peter' se ha utilizado para el cálculo de las unidades de calor o GD dos temperaturas basales: 4º C para 'Kerman' y 8º C para 'Peter' (Guerrero *et al.*, 2008).

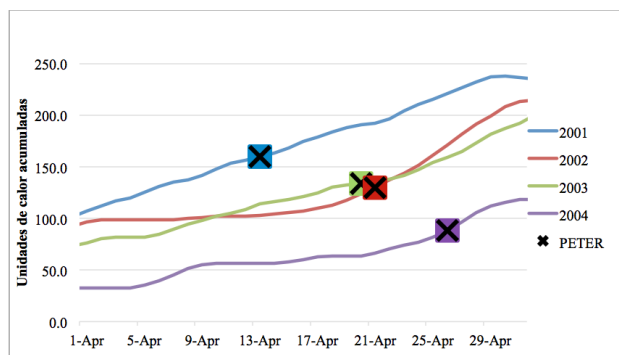
Se han realizado unos gráficos (Figuras 3, 4, 5 y 6) cruzando los datos del inicio de la floración de 'Kerman' y 'Peter' con los GD acumulados.



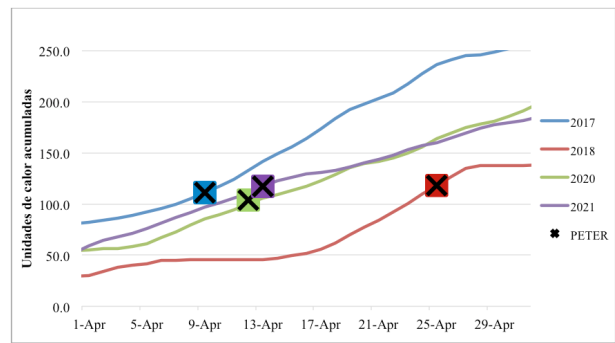
**Figura 3** - Unidades de Calor y fertilidad de la flor de 'Kerman'. Periodo 2000-2004.



**Figura 4** - Unidades de Calor y fertilidad de la flor de 'Peter'. Periodo 2000-2004.



**Figura 5** - Unidades de Calor y fertilidad de la flor 'Kerman' para los años 2017-2021.

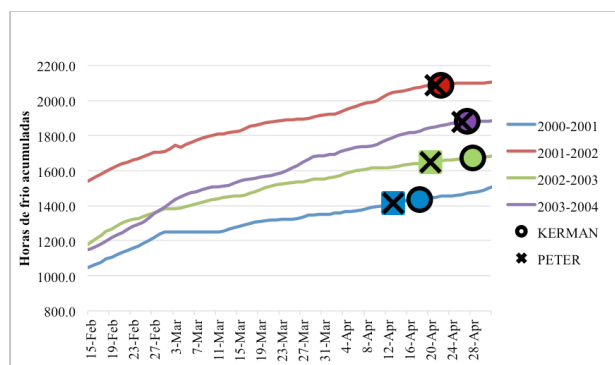


**Figura 6** - Unidades de Calor y fertilidad de la flor 'Peter' para los años 2017-2021.

Es posible observar comparando las Figuras 3 y 4 con la 5 y 6 que, en ambos casos, dentro de su periodo, los machos Peter han coincidido con Kerman con la excepción del año 2003.

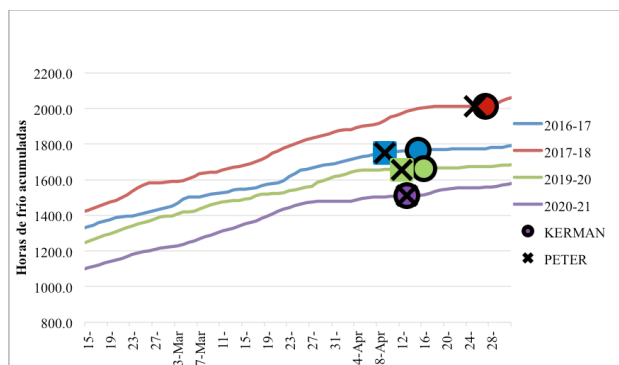
En general, en el periodo 2 se nota una mayor estabilidad en la fecha de inicio de la floración de 'Kerman' y de 'Peter', que se concentran justamente al alcanzar los GD necesarios para su floración (alrededor de 380 GD para 'Kerman' y 120 para 'Peter'). De hecho, es posible observar que el único año en el que hay un atraso es en el 2018, que coincide con una clara falta de unidades de calor.

Observando las Figuras 7 y 8 es posible ver la relación con las horas de frío, en este caso ambos cultivos están en el mismo gráfico por utilizar la misma temperatura basal en el cálculo de las HF.



**Figura 7** - Horas de frío acumuladas y fertilidad de la flor. Periodo 2000-2004.





**Figura 8** - Horas de frío acumuladas y fertilidad de la flor. Periodo 2016-2021.

En ambos gráficos se puede constatar que incluso en ambos periodos las necesidades de HF para 'Kerman' (1200) se satisfacen antes del 1 de marzo, que es el periodo donde se empiezan a acumular las primeras UC. Incluso en el año con menos acumulación de HF la variedad 'Kerman' ha podido florecer sin retraso. De hecho, los promedios de cada periodo respecto a la acumulación de HF son similares.

## CONCLUSIONES

Aunque 20 años no sea un periodo muy relevante para el cambio climático, el aumento de las temperaturas en estas últimas décadas ha generado efectos claros en la floración del pistacho, acortando el periodo receptivo para la mayoría de las variedades comerciales de hembras y adelantando algunas de las variedades comerciales de macho más empleadas. Resumiendo, actualmente parece que no hay problemas en cuanto a la satisfacción de HF en la zona centro peninsular, y que los cambios en la floración, aunque tangibles, no han surtido efectos muy negativos en cuanto al solapamiento entre machos y hembras.

Sin embargo, se han notado adelantamientos de hasta 15 días en la fecha de máxima propagación de polen y un acortamiento del periodo receptivo de hasta 6,5 días en hembras, y esto debería alertar acerca de los efectos que un ulterior aumento de las temperaturas podría llevar consigo. Así que habría que considerar estos resultados para seguir monitorizando las floraciones, hacer modelos futuros para adelantar un posible posterior efecto del cambio climático en la fenología del pistachero y elegir correctamente las variedades para evitar posibles problemas futuros en la polinización.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Julián Guerrero Villaseñor por haberme enseñado todo acerca de la observación fenológica del pistachero y por su disponibilidad incondicional en resolver cualquier duda y su participación en este trabajo.

Gracias al IRIAF, al CIAG "El Chaparrillo" y a todos sus trabajadores, investigadores (especialmente a María Jesús Cabello) y peones de campo. Pasar todas estas primaveras en la parcela de variedades ha sido un verdadero placer y honor.

Sara Rodrigo-Gómez agradece al estudio "Nuevas estrategias de lucha biológica contra las principales plagas del pistachero en Castilla-La Mancha", cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Rural, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación y Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha a través de la operación 16.2.2. del Programa de Desarrollo Rural de Castilla-La Mancha para el periodo 2014-2020.

Gracias a todos los que hayan participado de forma activa y no en este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J.L. & Seeley, S.D. (1992) - Modelling strategy in pomology development of the Utah models. *Acta Horticulturae*, vol. 313, p. 297-307. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.313.36>
- Anderson, J.L. & Seeley, S.D. (1993) - Bloom delay in deciduous fruits. *Horticultural Reviews*, vol. 15, p. 97-144. <https://doi.org/10.1002/9780470650547.ch3>
- Benmoussa, H.; Luedeling, E.; Ghrab, M. & Ben Mimoun, M. (2020) - Severe winter chill decline impacts Tunisian fruit and nut orchards. *Climatic Change*, vol. 162, n. 3, p. 1249-1267. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02774-7>
- Couceiro-López, J.F.; Guerrero, J.; Gijón, M.C.; Moriana, A.; Pérez, D. & Rodríguez de Francisco, M. (2017) - *El cultivo del pistacho*. Ed. Mundiprensa. Madrid, 772 p.
- Delgado, A.; Egea, J.A.; Luedeling, E. & Dapena, E. (2021) - Agroclimatic requirements and phenological responses to climate change of local apple cultivars in northwestern Spain. *Scientia Horticulturae*, vol. 283, art. 110093. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110093>
- Elnesr, M.N. & Alazba, A.A. (2016) - An integral model to calculate the growing degree-days and heat units, a spreadsheet application. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 124, p. 37-45. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.03.024>
- FAOstat (2022) - *Datos sobre alimentación y agricultura*- Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. [cit. 2022-11-11]. <https://www.fao.org/faostat/es/>
- Guerrero, J.; Gijón, M.C.; Moriana, A.; Rivero, A. y Couceiro, J.F. (2008) - El pistachero en Castilla-La Mancha. Primeros resultados (y 2). El cultivo en secano. *Fruticultura Profesional*, vol. 173, p. 36-45.
- Guerrero, J. (2011) - *Comportamiento varietal del Pistachero (Pistacia vera L.) y respuesta agronómica del portainjerto autóctono Pistacia terebinthus L. en Castilla-La Mancha*. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Madrid. 215 p.
- Guerrero, J.; Memmi, H.; Pérez-López, D.; Couceiro, J.F.; Moriana, A.; Martínez, E. & Gijón, M.C. (2014) - Phenological behavior of two new male cultivars of pistachio (*Pistacia vera* L.): 'Chaparrillo' and 'Guerrero'. *Acta Horticulturae*, vol. 1028, p. 297-303. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1028.48>
- Haokip, S.W.; Shankar, K. & Lalringheta, J. (2020) - Climate change and its impact on fruit crops. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 9, n. 1, p. 435-438.
- Kaya, S. (2010) - Irrigation Scheduling of Potato Using Growing-Degree-Days-Based Crop Coefficients under Erzurum Conditions. *TABAD Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, vol. 3, n. 2, p. 11-16.
- Lorite, I.J.; Cabezas-Luque, J.M.; Arquero, O.; Gabaldón-Leal, C.; Santos, C.; Rodríguez, A. & 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. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 294, art. 108142. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108142>
- Mahmoudi Meimand, M.J.; Alipour, H.; Shamshiri, M.H. & Esmaeili Zadeh, M. (2022) - Pistachio Production Management in Iran by Rest-breaking Treatment and Comparison of Dynamic vs Chill Hour Model for Chill Accumulation. *Erwerbs-Obstbau*, vol. 64, n. 2, p. 271-281. <https://doi.org/10.1007/s10341-021-00606-1>
- MAPA (2021) - *Encuesta sobre superficies y rendimientos (ESYRCE)*- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid, España. [cit. 2022-11-11]. [https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/comentariosespana2021\\_tcm30-584074.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/comentariosespana2021_tcm30-584074.pdf)
- McMaster, G.S. & Wilhelm, W.W. (1997) - Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 87, n. 4, p. 291-300. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(97\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00027-0)
- Richardson, E.A.; Seeley, S.D. & Walker, D.R. (1974) - A Model for Estimating the Completion of Rest for 'Redhaven' and 'Elberta' Peach Trees. *HortScience*, vol. 9, n. 4, p. 331-332. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.9.4.331>
- Rulm, M.; Vukovic, A. & Milatovic, D. (2010) - Evaluation of different methods for Determining Growing Degree-Day Thresholds in Apricot Cultivars. *International Journal of Biometeorology*, vol. 54, n. 4, p. 411-422. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0292-6>