

# Reposo y desarrollo floral en frutales de clima templado

Los frutales de clima templado entran en un estado de reposo durante el invierno y así logran la sincronización del desarrollo floral con las estaciones del año. Cada variedad tiene unas necesidades de frío y de calor específicas que determinan la fecha de floración y su adaptación a una determinada región. La disminución del frío invernal causada por el cambio climático está comprometiendo la producción de fruta en muchas situaciones. En este trabajo se describen el proceso de reposo y algunos biomarcadores relacionados con la transición de la fase de acumulación de frío a la fase de acumulación de calor que permiten determinar las necesidades agroclimáticas de cada variedad.

*Erica Fadón<sup>1,2</sup> y Javier Rodrigo<sup>1,2</sup>. <sup>1</sup> Departamento de Ciencia Vegetal, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza. <sup>2</sup> Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza), Zaragoza.*

Los **frutales** de clima templado incluyen los frutales de hueso (albaricoquero, almendro, cerezo, ciruelo y melocotonero) y los frutales de pepita (manzano, peral y membrillero). La superficie cultivada de frutales de clima templado en España es superior a 900.000 ha y se han producido cerca de 3 millones de toneladas de fruta. La producción se localiza principalmente en el valle del Ebro (La Rioja, Aragón y Cataluña, Extremadura y Murcia (MAPA, 2023).



Figura 1. Esquema de la fenología del cerezo a lo largo de las estaciones.

En estos cultivos, la **fenología** está sincronizada con las estaciones, lo que les permite adaptarse a los cambios meteorológicos estacionales característicos del clima templado (**figura 1**). La floración en los frutales de hueso se produce antes de la brotación de las hojas, y los frutales de pepita florecen justo después del desborre de las yemas vegetativas. La floración y el posterior cuajado de fruto determinan la cosecha, por lo que es crucial que la polinización, la fecundación y el inicio del desarrollo del fruto ocurran en condiciones meteorológicas favorables.

En la mayoría de los frutales de clima templado, la **floración** ocurre a finales del invierno o principios de primavera, cuando las temperaturas comienzan a ser más suaves. El periodo de floración dura unas dos o tres semanas, pero el proceso de diferenciación floral en el interior de las yemas se inicia en el verano anterior y por tanto tiene lugar durante más de ocho meses. Todos los eventos meteorológicos que ocurren en este periodo afectan, favorable o desfavorablemente, al desarrollo de las flores en el interior de las yemas y a la época de floración (Fadón *et al.*, 2015).

# El desarrollo floral

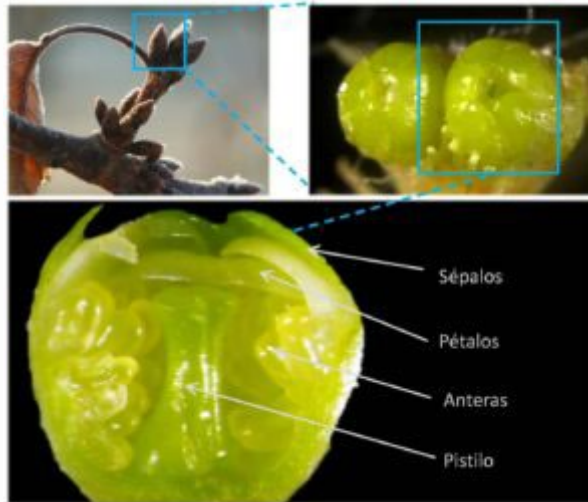


Figura 2. Desarrollo de las yemas florales de cerezo durante el invierno, en cuyo interior se pueden observar los primordios florales con las principales estructuras de la flor ya diferenciadas.

Los **meristemos** florales en el interior de la yema floral comienzan a diferenciarse en primavera o verano, cuando el fruto de la campaña anterior todavía está madurando en el árbol. El proceso de diferenciación floral continúa su desarrollo durante el otoño. En esta fase, en el interior de las yemas de la mayoría de especies se distinguen los primordios florales con todas las partes de la flor diferenciadas (sépalos, pétalos, estambres y pistilo) (**figura 2**).

El desarrollo de los **primordios** florales se detiene con la bajada de las temperaturas a mediados o finales del otoño (Fadón *et al.*, 2018b). En esta fase, las hojas cambian de color y comienzan a caer, y el árbol se prepara para sobrevivir a las bajas temperaturas del invierno entrando en el estado de reposo invernal, en el que los meristemos permanecen protegidos en el interior de las yemas. Los árboles permanecen en este estado hasta la llegada de temperaturas más suaves al final del invierno o el inicio de la primavera, cuando las yemas florales reactivan su crecimiento hasta alcanzar el desborre.

Entre el **desborre** y la floración, en las anteras se completa el desarrollo del polen, el pistilo se va alargando y se diferencian tejidos específicos como el tejido transmisor o el estigma, y en el ovario se desarrollan de los óvulos. Este proceso culmina con la apertura de la flor con las estructuras femenina y masculina completamente formadas y preparadas para la polinización, cuando los granos de polen son transportados desde los estambres y depositados en el estigma de las flores, donde germinan emitiendo cada uno un tubo polínico.

Los **tubos polínicos** crecen a lo largo de las estructuras del pistilo (estigma, estilo y ovario). En condiciones adecuadas, algunos tubos pueden alcanzar el interior del ovario y fecundar uno de los óvulos, produciéndose el embrión. Después de la fecundación, comienza el desarrollo del fruto con el engrosamiento del ovario.

# El reposo invernal

Se caracteriza por la ausencia de crecimiento de los meristemos del árbol. Este proceso viene determinado internamente por el propio árbol, no por las condiciones climáticas adversas características del invierno. De hecho, aunque los árboles experimenten temperaturas adecuadas para el crecimiento en esta fase, las yemas no tienen la capacidad de brotar. Para superar esta primera fase del reposo, denominada **endodormancia**, es necesario que las yemas experimenten un periodo a bajas temperaturas. Una vez las yemas acumulan una cantidad de frío determinada, requieren la exposición a temperaturas cálidas para finalmente reanudar el crecimiento (fase de **eco-dormancia**).

Las necesidades agroclimáticas incluyen las necesidades de frío durante la endodormancia y las necesidades de calor durante la eco-dormancia, están determinadas genéticamente y son específicas para cada variedad, existiendo grandes variaciones tanto entre especies como entre variedades dentro de cada especie. A pesar de que la necesidad de acumular frío se describió por primera vez hace más de dos siglos y se está investigando mucho para conocer lo que ocurre durante este periodo (Fadón et al., 2020a), todavía se desconocen muchos de los mecanismos implicados en la biología del reposo en frutales.

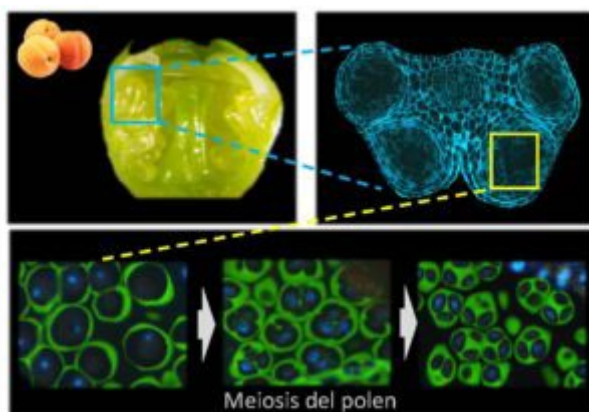


Figura 3. La meiosis del polen como biomarcador del reposo en albaricoquero.

Las **necesidades agroclimáticas** determinan las fechas de floración y su adaptación a las diferentes zonas de cultivo. En los últimos años, el reposo se está estudiando con especial interés debido al incremento de temperatura que está teniendo lugar en muchos inviernos causada por el cambio climático. La reducción del frío invernal puede comprometer la rentabilidad del cultivo, ya que el incumplimiento de las necesidades de frío provoca problemas en la floración y la fructificación, afectando negativamente a la cosecha. Además, tras inviernos cálidos, aunque el árbol complete sus necesidades de frío, puede haber importantes cambios en la época de floración, que se puede adelantar considerablemente en las variedades que requieren poco frío invernal y retrasar en las variedades más exigentes en frío, pudiendo producirse falta de coincidencia en la floración entre las variedades polinizadoras y las variedades a polinizar, comprometiendo así el cuajado de frutos y la cosecha.

A pesar de la importancia de conocer las necesidades de frío y calor de cada variedad, estos datos solo están disponibles en muy pocas de las variedades cultivadas en la

actualidad (Fadón *et al.*, 2020b). Esta falta de información se debe a que es muy complicado determinar las necesidades agroclimáticas de las variedades de forma fiable. Por un lado, las metodologías experimentales existentes para determinar cuándo se han cubierto las necesidades de frío son laboriosas, necesitando varios años de ensayos, y no están estandarizadas. Por otro lado, los modelos más utilizados de cuantificación de frío (horas frío, unidades de frío, porciones de frío) y calor (horas calor, días calor) están desactualizados y solo consideran las temperaturas sin tener en cuenta la especie, los procesos biológicos ni la semana o el mes. Esto hace que los resultados no siempre son aplicables a lugares diferentes a donde se han obtenido (Campoy *et al.*, 2011; Fadón and Rodrigo, 2018).

## Biomarcadores para determinar las fases del reposo

En la actualidad, muchos trabajos de investigación tienen como objetivo la búsqueda de **biomarcadores** que permitan conocer cuándo se han cumplido las necesidades de frío y se ha completado la fase de endo-dormancia, ya que en este estado no hay cambios morfológicos externos en las yemas. Encontrar un proceso biológico que se relacione con las fases del reposo permitiría determinar con certeza si un árbol ha cubierto sus necesidades de frío, pudiendo así estimar con fiabilidad sus necesidades de frío y facilitando la toma de decisiones agronómicas.



Figura 4. La acumulación de almidón en el primordio del ovario de la flor de cerezo como biomarcador del reposo.

El desarrollo floral es un proceso que está estrechamente ligado al reposo, y por ello se ha considerado de especial interés para tratar de encontrar indicadores relacionados con el cumplimiento de las necesidades de frío y la transición de la fase de endo-dormancia a eco-dormancia. En los últimos años se están analizando en detalle el desarrollo de los estambres (parte masculina) y del pistilo (parte femenina) en relación con las fases del reposo.

Los estambres ya se encuentran diferenciados cuando se establece el reposo, distinguiéndose el filamento y la antera. Observando yemas con el microscopio, se ha identificado la meiosis del polen como uno de los primeros procesos que tienen lugar

tras la fase de endo-dormancia (**figura 3**). Esto ha permitido determinar las necesidades de frío de variedades de albaricoquero, resultando un biomarcador muy útil en esta especie, ya que además resulta fácil y rápido de identificar (Herrera *et al.*, 2022). En la actualidad se está investigando la viabilidad de este marcador en otras especies frutales.

En cerezo, la caracterización del desarrollo del pistilo ha permitido relacionar la evolución del contenido de almidón en el primordio del ovario con las distintas fases del reposo. El almidón se va acumulando según se va acumulando el frío, alcanzando la máxima concentración cuando se cumplen las necesidades de frío de la variedad (Fadón *et al.*, 2018a), por lo que es un buen biomarcador para determinar el reposo en esta especie (**figura 4**).

Sin embargo, mientras que la meiosis del polen en albaricoquero se identifica de forma rápida, la metodología necesaria para cuantificar el almidón en el primordio floral es larga y laboriosa, por lo que de momento no resulta práctica para aplicar a un gran número de variedades. En la actualidad se está tratando de optimizar la metodología para poder cuantificar el almidón de una forma más rápida y sencilla. En los últimos años también se han realizado importantes avances en la regulación genética del reposo, con la identificación de algunos genes, como los DAM, implicados en el reposo de numerosas especies frutales de clima templado como melocotonero, cerezo o manzano (Falavigna *et al.*, 2019).

Los resultados de estos trabajos han supuesto importantes avances para entender la biología del reposo y poder determinar las necesidades agroclimáticas de variedades, pero además sirven para desarrollar nuevos modelos basados en procesos que permitirán predecir el efecto del cambio climático en la fenología de los frutales y conocer qué variedades se adaptan mejor a cada área de producción.