

## Biología floral y cuajado de fruto en peral cv. 'Agua de Aranjuez'

J. Sanzol\*, M. Herrero\*\*

\*Unidad de Fruticultura, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA), Avenida de Montañana, 930, 50059 Zaragoza, España.

\*\*Departamento de Pomología. EE. De Aula Dei-CSIC, Campus de Aula Dei, Apartado 202, 50080 Zaragoza, España.

### Resumen

La principal variedad de peral cultivada en España, 'Agua de Aranjuez', se caracteriza por una marcada tendencia a los cuajados erráticos. A consecuencia de esto y con el fin de estabilizar producciones, la aplicación de ácido giberélico para la inducción de frutos partenocárpico se ha convertido en una práctica generalizada. La creciente preocupación por la regularización de hormonas de síntesis en fruticultura puede poner en riesgo la producción de este cultivar. El mal comportamiento productivo de 'Agua de Aranjuez', se ha intentado explicar sobre la base de numerosas hipótesis. En este artículo revisamos los últimos resultados obtenidos en este cultivar, determinando la importancia relativa de diferentes factores reproductivos que contribuyen a explicar los cuajados erráticos. En base a estos resultados se propone una alternativa agronómica a su actual sistema de producción, basada en el establecimiento de unas adecuadas condiciones de polinización.

**Palabras clave:** Peral, 'Agua de Aranjuez', cuajados erráticos, polinización

### Summary

#### Flower Biology and fruit set in 'Agua de Aranjuez' pear

'Agua de Aranjuez' pear is a cultivar particularly prone to erratic fruit set. This has been overcome through the induction of parthenocarpic fruits following treatment with gibberelic acid, to the point that the production of this cultivar relies on this treatment. However, recent concern on the use of hormonal products in fruit crops, may jeopardize the production of this cultivar. The poor cropping performance of 'Agua de Aranjuez' has been explained under a number of hypotheses. In this work we review the last results obtained in this cultivar, determining the relative importance of different reproductive factors contributing to erratic fruit set. Based on these results a pollination alternative for the production of this cultivar is discussed.

**Key words:** Pear, 'Agua de Aranjuez', erratic fruit set, pollination

### Introducción

'Agua de Aranjuez' es una de las variedades más cotizadas en nuestro país, con una superficie que alcanza el 34% de la superfi-

cie total de peral (MAPA, 2002). La Rioja, Aragón y Cataluña, concentran el 80 % de la superficie cultivada de 'Agua de Aranjuez', suponiendo las plantaciones de este cultivar, en estas tres comunidades autóno-

mas, una cuarta parte de la superficie total de peral cultivada en España. Pese a su importancia, este cultivar presenta el problema de que su producción es dependiente del tratamiento con ácido giberélico ( $GA_3$ ), práctica que se generalizó debido a sus producciones bajas y erráticas en condiciones de polinización libre (Sotes, 1975; Cambra y Herrero, 1978; Blanco, 1991). La inminente regularización en la utilización de fitohormonas en fruticultura, hace probable que la utilización de  $GA_3$  se vea restringida, si no suprimida. De hecho el  $GA_3$  está catalogado como un regulador de crecimiento, dentro de la lista de pesticidas con impacto sobre la salud pública (WHO, 1990). La prohibición en el uso de  $GA_3$  supondría un serio problema económico en regiones cuya principal fuente de ingresos en la actualidad, es la producción de este cultivar.

En los últimos años se ha asistido a un descenso en la superficie de 'Agua de Aranjuez' (MAPA, 2002). Esto parece deberse principalmente a un descenso en la demanda. Este cultivar aun siendo típicamente de verano es principalmente comercializado en invierno y alcanza sus mejores precios en marzo y abril. De forma general se le achaca que es una variedad cara de producir ya que sufre problemas serios de cuajado, a la vez que es una variedad difícil de conservar, siendo frecuentes las mermas a lo largo del periodo de conservación (Herrerros, 1991). En un futuro, la obtención de una pera de calidad será fundamental; esto implicará seguramente una comercialización más limitada a su periodo de consumo natural, a la vez que un descenso en la cantidad de fruta producida bajo tratamientos con  $GA_3$ . A pesar de esto, 'Agua de Aranjuez', sigue teniendo un claro nicho comercial. La búsqueda de alternativas a su actual sistema de producción, sobre todo en lo referente al cuajado de frutos, puede ser de vital importancia en el mantenimiento de este cultivar.

La interpretación del comportamiento productivo errático de 'Agua de Aranjuez' ha sido controvertida y se ha intentado explicar sobre la base de numerosas hipótesis tales como la existencia de esterilidad funcional o degenerativa (Cambra y Herrero, 1978; Sotes, 1975) o el mal comportamiento en condiciones de auto-polinización (Cambra, 1962). En este trabajo revisamos los últimos resultados obtenidos en este contexto de trabajo, que han estado centrados en la determinación de la importancia relativa de diferentes factores reproductivos que contribuyen a explicar los cuajados erráticos de este cultivar. En base a estos resultados se propone una alternativa agronómica a su actual sistema de producción, basada en el establecimiento de unas adecuadas condiciones de polinización.

### Auto-incompatibilidad y cuajado

Los procesos que acontecen desde el inicio de la floración hasta el establecimiento del cuajado inicial, se consideran críticos en la productividad de especies frutales (Williams, 1970a). Dentro de estos la incompatibilidad polen-pistilo tiene una especial relevancia, puesto que supone una barrera directa en la utilización del propio polen por la variedad y obliga a la utilización de polinizadores, para que se pueda llevar a cabo con éxito el proceso reproductivo y así el cuajado del fruto.

El peral es considerado de forma generalizada como una especie auto-incompatible (Crane y Lewis, 1942; Lewis y Molidowska, 1945; Modlibowska, 1945; Nyeki *et al.*, 2000). Sin embargo, la expresión de la reacción de auto-incompatibilidad en esta especie está muy influenciada por factores fisiológicos y ambientales (Crane y Lewis, 1942; Modlibowska, 1945). De acuerdo con esto, pese a que se ha observado que 'Agua de Aran-

juez' cuaja mejor en condiciones de polinización cruzada que bajo auto-polinización (Cambra, 1962), este cultivar ha sido también descrito como auto-fértil, reconociéndose la posibilidad de obtener cuajados aceptables sin la necesidad de polinizadores (Sotes, 1975).

Con el fin de establecer las necesidades de polinización de 'Agua de Aranjuez' hemos caracterizado la auto-incompatibilidad en este cultivar. Tanto los datos de crecimiento del tubo polínico, número de semillas por fruto y cuajado de fruto, ponen de manifiesto el comportamiento auto-incompatible de 'Agua de Aranjuez' (Sanzol y Herrero, 2002a; Sanzol y Herrero, 2002b). Un resultado significativo de estos estudios, ha sido la constatación de que el comportamiento frente a la auto-polinización no es homogéneo a lo largo de los años. Así, los datos obtenidos en ensayos de cuajado en tres años consecutivos, muestran que mientras para los dos primeros años no se obtuvo un cuajado aceptable tras auto-polinización, en el último año se obtuvo un cuajado comercial. Puesto que se ha podido establecer que para este cultivar la fecundación de un único óvulo es suficiente para el establecimiento del cuajado inicial, la variación en cuajado observada entre años se explica por la presencia de una pequeña proporción de óvulos fecundados (8%) la cual redundaría en un número de flores con algún óvulo fecundado (30%), suficiente para explicar los valores de cuajado inicial obtenidos bajo autofecundación. Este comportamiento variable en condiciones de auto-polinización, puede ser una de las causas responsables de los cuajados erráticos de este cultivar.

Por otro lado, el estudio del comportamiento de 'Agua de Aranjuez' en condiciones de polinización libre, ha mostrado la posibilidad de obtener un cuajado aceptable sin necesidad del uso de ácido giberélico, aun-

que también ha puesto de manifiesto la sensibilidad de este cultivar a unas malas condiciones de polinización (Sanzol y Herrero, 2002b). Estos resultados, sugieren que los cuajados erráticos en este cultivar están vinculados a un problema de polinización.

### **Periodo efectivo de polinización**

En aquellos cultivares que requieren de polinización cruzada debido a su condición auto-incompatible, el polen debe de ser transportado desde las flores de la variedad polinizadora hasta el estigma de las flores de la variedad comercial. Con el fin de asegurar que la fecundación se lleve a cabo con éxito este transporte ha de realizarse durante el lapso de tiempo durante el cual la flor permanece receptiva. El periodo efectivo de polinización (PEP) proporciona una cuantificación de la receptividad floral (Williams, 1970b). En términos de cuajado este se define como el tiempo durante el cual la flor tras ser polinizada es capaz de desarrollar fruto. En aquellas situaciones en que el PEP es reducido, factores tales como diferencias en la coincidencia de floración entre variedad y polinizador, densidad de floración del polinizador o intensidad en la visita de insectos polinizadores, comprometen la eficiencia con que la polinización se lleva a cabo.

El estudio del PEP en 'Agua de Aranjuez' ha permitido determinar unos valores de receptividad floral sustancialmente inferiores a los descritos para otros cultivares de peral (revisado en Sanzol y Herrero, 2001). Así los valores normalmente obtenidos en peral oscilan en un rango que va de 6 a 11 días dependiendo de cultivares y ensayos. En contraposición el PEP obtenido para 'Agua de Aranjuez' en dos años consecutivos de ensayo es de dos días. Entre las estimaciones descritas en la bibliografía, tan

sólo 'Doyenné du Comice' presenta valores similares (Williams, 1966; Crisosto *et al.*, 1992; Tromp y Borsboom, 1994), siendo éste también un cultivar con frecuentes problemas de cuajado (Jaumien, 1968; Williams, 1970b). El estudio de los factores limitantes del PEP apunta a que la receptividad estigmática claramente limita la receptividad floral registrándose unas altas correlaciones entre los valores de cuajado de fruto y de receptividad estigmática (Sanzol *et al.*, 2003c). Es interesante resaltar que las mejores correlaciones con los valores de cuajado inicial se han establecido con la serie de valores de flores con al menos un estigma receptivo o inmaduro. Este resultado esta de acuerdo con la observación de que la fecundación de un óvulo es suficiente para iniciar el desarrollo del ovario y establecer el cuajado inicial en esta variedad.

El hecho de que la receptividad estigmática puede condicionar el cuajado se ha descrito en otras especies como kiwi, cerezo y albaricoque (revisado en Sanzol y Herrero, 2001). En kiwi (González *et al.*, 1995) se ha observado también una alta correlación entre la receptividad estigmática y los valores de cuajado.

Un análisis conjunto de aquellos trabajos en los que la receptividad estigmática ha supuesto el factor limitante del PEP, pone de manifiesto que esto ocurre cuando se han realizado en condiciones altas de temperatura, al igual que en nuestro caso. Del mismo modo es común que bajo condiciones de temperatura frías se produce una ralentización del crecimiento del tubo polínico, siendo este con mas frecuencia el factor limitante (revisado en Sanzol y Herrero, 2001).

El estudio de la maduración y la degeneración de los estigmas dentro de una misma flor, señala que no todos los estigmas están en un mismo estado de desarrollo. Así se pudieron identificar tres estados, inmaduros,

receptivos y degenerados. Mediante el análisis de la interacción polen-estigma en polinizaciones controladas en antesis y en diferentes estados después de antesis, se observó que la adquisición de la receptividad se produce en dos etapas sucesivas. En primer lugar el estigma permite la adhesión del grano de polen y en una segunda etapa de desarrollo, permite la hidratación y la germinación del polen. Por otro lado el inicio de la degeneración del estigma está marcado por su incapacidad de permitir el crecimiento del tubo polínico en el estilo mientras que éste era favorable para la adhesión, la hidratación y la germinación. En un estado de degeneración posterior los estigmas pierden también la capacidad de adhesión. De esto se desprende que los estigmas inmaduros regulan la adhesión y los estigmas degenerados el crecimiento direccional del tubo polínico de una forma independiente a la hidratación y la germinación (Sanzol *et al.*, 2003a).

### **El uso de polinizadores como alternativa de producción**

Todos los factores previamente discutidos y considerados en conjunto establecen un contexto para explicar los cuajados erráticos tradicionalmente asociados con este cultivar y hacen de 'Agua de Aranjuez' un cultivar especialmente vulnerable a unas malas condiciones de polinización. Además este cultivar es uno de los primeros en florecer y por tanto el número de cultivares coincidentes con el en floración es reducido. A pesar de ello, los datos experimentales obtenidos soportan una respuesta consistentemente positiva a la polinización indicando la posibilidad de habilitar alternativas para su producción siempre que se tenga en cuenta una planificación adecuada de las condiciones de polinización (Sanzol y Herrero, 2002b).

En esta dirección se han buscado variedades inter-compatibles y coincidentes en floración con 'Agua de Aranjuez'. En las condiciones evaluadas se consiguen buenos resultados con una serie de cultivares, con un diferente grado de interés comercial, entre las que cabe destacar 'Coscia', 'Castell', 'Leonardeta', 'Tosca' y 'Etrusca' (Sanzol y Herrero, 2000; Sanzol *et al.*, 2003b). El uso de estos polinizadores es una alternativa apta para una producción libre del uso de ácido giberélico, asegurando unas cosechas regulares.

### Agradecimientos

Agradecemos a Manuel Carrera que sugirió este tema de trabajo y lo apoyó a lo largo de su desarrollo. Este trabajo ha sido financiado por los proyectos INIA RTA01-103, CICYT AGL 2003-05318 y Grupo de Investigación Consolidado DGA A02, A-43.

### Bibliografía

- Blanco A, 1991. Utilización de reguladores de crecimiento en el peral In. El peral y el nashi. Aedos Fundación 'La Caixa', pp. 31-36.
- Cambra M, 1962. Determinación de variedades polinizadoras del peral "Agua de Aranjuez". Anales de Aula Dei 7: 85-92.
- Cambra M y Herrero J, 1978. Estudios sobre la irregularidad de producción de la variedad de peral "Agua de Aranjuez". Anales de Aula Dei 14: 76-94.
- Crane MB y Lewis D, 1942. Genetical studies in pears III. Incompatibility y sterility. Journal of Genetics 43:31-44.
- Crisosto CH, Lombard PB, Richardson DG, y Tetley R, 1992. Putrescine extends effective pollination period in 'Comice pear (*Pyrus communis* L.) irrespective of post-anthesis ethylene levels. Scientia Horticulturae. 49: 211-221.
- González MV, Coque M, y Herrero M, 1995b. Stigmatic receptivity limits the effective pollination period in kiwifruit. Journal of the American Society for Horticultural Science 120: 199-202.
- Herreros A, 1991. La pera Blanquilla como pera de calidad In. El peral y el nashi. Aedos. Fundación 'La Caixa', pp. 25-30.
- Jaumien F, 1968. The cause of poor bearing trees of the variety 'Doyenne du Comice'. Acta Agrobotanica 21: 75-106.
- Lewis D y Modlibowska I, 1942. Genetical studies in pears IV. Pollen-tube growth y incompatibility. Journal of Genetics 43: 211-222.
- MAPA, 2002. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Anuario de estadística agraria. Madrid. España.
- Modlibowska I, 1945. Pollen tube growth y embryo-sac development in apples y pears. Journal of Pomology 21: 57-89.
- Nyeki J, Soltesz M y Ivancsics J, 2000. Self-fertility of pear varieties conditioned by natural self-pollination (autogamy). International Journal of Horticultural Science 6: 110-113.
- Sanzol J y Herrero M, 2000. Selección de polinizadores en el cultivar de peral 'Agua de Aranjuez'. ITEA, 21: 81-86.
- Sanzol J y Herrero M, 2001. The Effective Pollination Period in fruit trees. Scientia Horticulturae, 90: 1-17.
- Sanzol J y Herrero M, 2002a. Identification of self-incompatibility alleles in pear cultivars (*Pyrus communis* L.). Euphytica 128: 325-331.
- Sanzol J y Herrero M, 2002b. Fructificación del cultivar de peral Agua de Aranjuez. I Necesidades de polinización. Fruticultura Profesional, 130: 25-32.
- Sanzol J, Rallo P y Herrero M, 2003a. Asynchronous developmental of stigmatic receptivity in the pear (*Pyrus communis* L. Rosaceae) flower. American Journal of Botany 90: 78-84.
- Sanzol J, Rallo P y Herrero M, 2003b. Fructificación del cultivar de peral Agua de Aranjuez. II

- Evaluación de polinizadores. *Fruticultura Profesional*, 132: 39-43.
- Sanzol J, Rallo P y Herrero M, 2003c. Stigmatic receptivity limits the effective pollination period in 'Agua de Aranjuez' pear. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 128: 458-462.
- Sotes V, 1975. Estudio del crecimiento del tubo polínico y de la longevidad de óvulos en la variedad de peral "Blanquilla de Aranjuez". *ITEA* 19: 23-29.
- Tromp J y Borsboom, 1994. The effect of autumn y spring temperature on fruit set y on the effective pollination period in apple y pear. *Scientia Horticulturae* 60: 23-30.
- WHO, 1990 Public health impact of pesticides used in agriculture. WHO/UNEP Geneva.
- Williams RR, 1966. Pollination studies in fruit trees: II. The effective pollination period for some apple y pear varieties. Report of Long Ashton Research Station for 1965: 136-138.
- Williams RR, 1970a. An analysis of fruit-set determinants in 1969 In Williams, R. R. y Wilson, D., eds, *Towards Regulated Cropping*. Ed Vol Grower Books, London, Reino Unido, pp. 11-22.
- Williams RR, 1970b. The effect of supplementary pollination in yield In Williams, R. R. y Wilson, D., eds, *Towards Regulated Cropping*. Ed Vol Grower Books, London, Reino Unido, pp. 7-10.
- (Aceptado para publicación el 14 de octubre de 2005).