

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL  
MEDI NATURAL**



**EFFECTO DE LAS APLICACIONES DE ÁCIDO GIBERÉLICO  
PARA RETRASAR LA RECOLECCIÓN SOBRE LA LATENCIA Y  
DIFERENCIACIÓN DE LAS YEMAS EN EL CAQUI. ASPECTOS  
NUTRICIONALES**

Máster en Ingeniería Agronómica

Trabajo Fin de Máster

Autora: Mireia Martínez Masià

Tutor: Manuel Agustí Fonfría

Cotutora: Carmina Reig Valor

Curso académico: 2019/2020

Valencia, diciembre de 2020

## **Efecto de las aplicaciones de ácido giberélico para retrasar la recolección sobre la latencia y diferenciación de las yemas en el caqui. Aspectos nutricionales.**

La utilización de ácido giberélico al inicio del cambio de color retrasa la maduración del fruto del caqui y consigue posponer su recolección, lo que se utiliza como estrategia comercial. Aunque la concentración saturante del mismo se estableció con 30 mg/l, en la práctica se utilizan (injustificadamente) 50 mg/l, y, además se repite la aplicación hasta 3 ó 4 veces con el fin de conseguir el máximo retraso posible en la recolección del fruto. Pero el tratamiento, por una parte, y el retraso en la cosecha, por otra, retardan la caída de las hojas y la entrada en latencia de las yemas, las cuales en primavera brotan sin completar su maduración. Esto, puede afectar negativamente no solo al desarrollo vegetativo sino también a la diferenciación de las yemas florales y al posterior desarrollo del fruto.

El efecto de los tratamientos sobre la diferenciación floral se desconoce, y es lo que se aborda en este Trabajo Final de Máster. Con el fin de conocer la razón del deficiente desarrollo de las flores y frutos, se estudia el almacenamiento de reservas de carbohidratos en el floema de las ramas próximo a las yemas y su consumo, y la concentración de almidón presente en el ovario de las yemas florales, tanto en los árboles tratados para retrasar la recolección como en los controles sin tratar.

Por otra parte, y dado que el rayado de ramas aumenta la disponibilidad de carbohidratos e interrumpe el transporte de éstos a las raíces, se ha utilizado esta técnica antes de la entrada en senescencia de las hojas, buscando así un posible aumento en la acumulación de reservas y restituir las deficiencias en la diferenciación floral. La fecha de brotación, el desarrollo de las yemas, y el estudio del desarrollo de la flor y su contenido en almidón de reservas durante las primeras fases hasta la antesis, completan este trabajo.

**PALABRAS CLAVE:** Desarrollo vegetativo, diferenciación floral, desarrollo de la flor, giberelinas, almidón, carbohidratos, rayado, caqui.

### **Effect of gibberellic acid applied to delay harvest date on dormancy and bud differentiation in persimmon. Nutritional aspects.**

Gibberellic acid (AG) applied at the beginning of fruit colour change significantly delays fruit ripening and harvest date of persimmon, which is used as a commercial strategy. Although GA shows a saturating effect for 30 mg/l, growers apply 50 mg/l and repeat the application by three in order to delay harvesting as long as possible. However, leaf also delays the senescence process and abscission, and, hence, the onset of dormancy is significantly delayed. Consequently, in spring, these buds sprout without completing their ripening. This can negatively affect not only the vegetative development but also the differentiation of the flower buds and the subsequent development of the fruit.

The effect of this kind of treatments on flower differentiation remains unknown, and it is addressed in this Final Master Project. In order to know the reason for the deficient development of flowers and fruits, the storage of carbohydrate reserves in the phloem of the branches near the buds and their consumption are studied, as well as the concentration of starch present in the ovary of the flower buds, both in the trees treated to delay harvesting and in the untreated controls.

On the other hand, and given that branching increases the availability of carbohydrates and interrupts their transport to the roots, this technique has been used before the leaves enter senescence, thus seeking a possible increase in the accumulation of reserves and to restore deficiencies in flower differentiation. The date of sprouting, the development of the buds, and the study of the development of the flower and its content in reserve starch during the first phases up to anthesis, complete this work.

**KEY WORDS:** Vegetative development, flower differentiation, flower development, gibberellins, starch, carbohydrates, striping, persimmon.

**Alumna:** Mireia Martínez Masià

**Tutor Académico:** Prof. D. Manuel Agustí Fonfría

**Cotutor Académico:** Prof. Dña. Carmina Reig Valor

Valencia, diciembre de 2020

*Gràcies,*

*A Manolo per l'oportunitat i l'aprenentatge constant. Per tota la paciència, comprensió,  
implicació i hores dedicades.*

*A Amparo, Carmina i Carlos pels seus consells, ajuda i amabilitat en el dia a dia.*

*A Pili i a COAGRI per la confiança i totes les facilitats.*

*A la meua família, els meus pares i el meu germà per la seua ajuda incondicional i l'esforç  
realitzat en tot moment. Per ser el meu exemple a seguir, gràcies. 'No te compliques'.*



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. HIPÓTESIS DEL TRABAJO .....</b>	<b>4</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>5</b>
3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL Y TOMA DE MUESTRAS .....	5
3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	8
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>9</b>
4.1 EFECTO DEL TRATAMIENTO SOBRE LA SENESCENCIA Y LA ABSCISIÓN DE LAS HOJAS .....	9
4.1.1 Efecto sobre la senescencia foliar .....	9
4.1.2 Cinética de abscisión.....	10
4.1.3 Acumulación de horas frío.....	11
4.1.4 Acumulación de reservas de almidón .....	12
4.2 EFECTO DEL TRATAMIENTO SOBRE LA BROTACIÓN Y LA FLORACIÓN.....	
4.2.1 Diferenciación floral.....	13
4.2.2 Desarrollo vegetativo .....	13
4.2.3 Desarrollo reproductivo .....	16
4.3 EFECTOS SOBRE LA COSECHA .....	18
4.4 RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	21
4.1.1 Estímulo del desarrollo vegetativo y reproductivo .....	21
4.4.2 Reducción de la concentración de AG.....	22
<b>5. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>35</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>36</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Diseño de los tratamientos con AG realizados en otoño, las fechas de recolección y los tratados con 3,5,6 TPA en el inicio del desarrollo lineal del fruto. Cada fila consta de 30 árboles y cada parte dividida, de 10. La recolección **temprana** se llevó a cabo el 6 de noviembre, y la **tardía** el 5 de diciembre. .... V
- Figura 2.** Diseño de los tratamientos con AG realizados en otoño, y de los árboles rayados por cada uno de ellos. Cada fila cuenta con catorce árboles, estando rayados tres de ellos (25 de octubre). Las fechas de tratamientos fueron 07/09/19, 20/09/19 y 17/10/19. ....6
- Figura 3.** Muestra de fruto recién cuajado sobre la placa de enfriamiento del micrótopo (Microm HM400R) (1). Corte histológico del mesocarpo (2). ....7
- Figura 4.** Horas frío (HF) acumuladas entre la abscisión total de hojas de los árboles control y tratados con GA<sub>3</sub> (50 mg l<sup>-1</sup>) para retardar la recolección del fruto del caqui ‘Rojo Brillante’. ..... 11
- Figura 5.** Influencia de la recolección tardía y la aplicación de 50 mg l<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> tres veces sobre el contenido en almidón de reserva del floema de ramas de un año de edad del caqui ‘Rojo Brillante’. Valores para el 14 de febrero. Cada valor es la media de 3 repeticiones biológicas y 2 réplicas químicas. Las barras verticales indican el error estándar. Letras distintas indican significación estadística (P≤0.05). .... 12
- Figura 6.** Estado de desarrollo de una yema en latencia de árboles de caqui ‘Rojo Brillante’ control (izqda.) y tratados repetidamente con GA<sub>3</sub> para retardar la maduración y recolección. En la yema del árbol control son visibles la diferenciación de las flores (flecha). .... 13
- Figura 7.** Evolución de la longitud de los brotes de árboles de caqui ‘Rojo Brillante’ tratados con ácido giberélico (AG, 50 mg l<sup>-1</sup>) tres veces para retrasar la recolección. Cada valor es la media de 15 brotes por tratamiento. La flecha indica el momento de la antesis (28 d de abril). Las barras verticales indican el error standard; algunas barras no son visibles porque el tamaño del símbolo es mayor. El asterisco indica diferencias significativas en cada fecha (P ≤ 0.05). .... 14
- Figura 8.** Efecto de la aplicación en otoño de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>, 50 mg l<sup>-1</sup>) tres veces para retrasar la recolección del fruto del caqui ‘Rojo Brillante’ sobre el peso medio de las hojas de la brotación siguiente en antesis (28 abril, A) y durante la fase lineal de crecimiento del fruto (12 junio, B). Cada valor es la media de 30 hojas por tratamiento. Las barras verticales indican el error standard. La diferencia entre tratamientos alcanzó la significación estadística en ambas fechas (P ≤ 0.05). .... 15
- Figura 9.** Efecto de la aplicación en otoño de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>, 50 mg l<sup>-1</sup>), tres veces, para retrasar la recolección del fruto del caqui ‘Rojo Brillante’ sobre el número de flores por ramo mixto de la brotación siguiente que inician el desarrollo. Cada valor es la media de 15 brotes por tratamiento.



Las barras verticales indican el error standard. No existen diferencias significativas entre tratamientos.

.....	16
<b>Figura 10.</b> Efecto de la aplicación en otoño de ácido giberélico ( $GA_3$ , $50 \text{ mg l}^{-1}$ ), tres veces, para retrasar la recolección del fruto del caqui 'Rojo Brillante' sobre el número de células de los ovarios recién cuajados (12 mayo). Cada valor es la media de 5 ovarios y 30 medidas por ovario. Las barras verticales indican el error standard. Las medias difieren significativamente ( $P \leq 0.05$ ). .....	17
<b>Figura 11.</b> Relación entre el número de frutos por árbol y su peso individual en el caqui 'Rojo Brillante'. Influencia de la la fecha de recolección. Pronto: 11 noviembre, blanco. Tarde: 14 de diciembre, negro.....	19
<b>Figura 12.</b> Relación entre el número de frutos por árbol y su peso individual en el caqui 'Rojo Brillante'. Influencia de la aplicación de $50 \text{ mg l}^{-1}$ de ácido giberélico aplicada tres veces para retrasar la coloración de los frutos del año anterior y la fecha de recolección. Pronto: 11 noviembre, blanco. Tarde: 14 de diciembre, negro. ....	20
<b>Figura 13.</b> Influencia de la concentración de AG aplicada repetidamente sobre la coloración de las hojas del caqui 'Rojo Brillante'. Valores para el 28 de noviembre. Fechas de tratamiento, 21 de septiembre y 10 de octubre. Cada valor es la media de 10 hojas. Las barras verticales indican el error estándar. Letras distintas indican significación estadística ( $p \leq 0.05$ ). .....	24
<b>Figura 14.</b> Estado de la brotación de los árboles control (arriba) en comparación con los tratados tres veces con $30 \text{ mg l}^{-1}$ de ácido giberélico (abajo). Fotografía tomada el 9 de marzo, una semana después del desborre de los árboles control. ....	25
<b>Figura 15.</b> Estado de la brotación de los árboles control (arriba) en comparación con los tratados tres veces con $30 \text{ mg l}^{-1}$ de ácido giberélico (abajo). Fotografía tomada el 26 de marzo, veinte días después del desborre de los árboles control. ....	26
<b>Figura 16.</b> Estado de desarrollo de los botones florales de árboles control y tratados 3 veces con $30 \text{ mg l}^{-1}$ de AG en otoño para retardar la recolección. Figura. tomada el 26 de marzo. ....	26
<b>Figura 17.</b> Estado de la brotación de los árboles control (arriba) en comparación con los tratados tres veces con $30 \text{ mg l}^{-1}$ de ácido giberélico (abajo). Fotografía tomada el 14 de abril. ....	27
<b>Figura 18.</b> Estado de desarrollo de los botones florales de árboles control y tratados 3 veces con $30 \text{ mg l}^{-1}$ de AG en otoño para retardar la recolección. Fotografía tomada el 14 de abril. ....	27
<b>Figura 19.</b> Estado de la brotación de los árboles control (arriba) en comparación con los tratados tres veces con $30 \text{ mg l}^{-1}$ de ácido giberélico (abajo). Fotografía tomada el 30 de abril. ....	28
<b>Figura 20.</b> Estado de desarrollo de los botones florales de árboles control y tratados 3 veces con $30 \text{ mg l}^{-1}$ de AG en otoño para retardar la recolección. Fotografía tomada el 30 de abril. ....	28

**Figura 21.** Influencia de la concentración de AG (30 y 50 mg·l<sup>-1</sup>) aplicada repetidamente y de la fecha de recolección sobre el porcentaje de yemas brotadas en el caqui ‘Rojo Brillante’. Fechas de tratamiento, 21 de septiembre y 10 de octubre. Cada valor es la media de 8 ramas de 8 árboles. Pronto: 6 de noviembre; tarde: 5 de diciembre. Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ )..... 29

**Figura 22.** Influencia de la aplicación repetida de AG y de la época de recolección sobre el peso del fruto recién cuajado (B). Cada valor es la media de 50 frutos. Valores para 10 días después del cuajado. Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ). Pronto: 6 noviembre. Tarde: 5 diciembre. .... 30

**Figura 23.** Estado de la brotación de los árboles control (A) y tratados con 30 mg l<sup>-1</sup> de AG, en otoño, una vez (B), dos (C) y tres veces (D). Fotografía tomada el 15 de marzo, 13 días después de iniciada la brotación en los árboles control..... 31

**Figura 24.** Influencia de la aplicación de 30 mg l<sup>-1</sup> de AG y el número de veces (x) sobre la cosecha de árboles de caqui ‘Rojo Brillante’. Cada valor es la media de 6 árboles y 10 frutos por árbol. Todos los árboles se recolectaron tarde (11 de diciembre). Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ )..... 32

**Figura 25.** Influencia del rayado de ramas antes del reposo invernal sobre la cosecha de árboles de caqui ‘Rojo Brillante’ tratados o no (control) con 30 mg l<sup>-1</sup> de AG y su repetición (x). Cada valor es la media de 6 árboles y 10 frutos por árbol. Todos los árboles se recolectaron tarde (11 de diciembre). Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ). .... 33

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Evolución de la coloración de las hojas del caqui 'Rojo Brillante' tratado con ácido giberélico (AG, 50 mg l<sup>-1</sup>) tres veces para retardar la recolección del fruto. Influencia de la fecha de recolección: pronto, 11 de noviembre, y tarde, 14 de diciembre. Los tratamientos fueron aplicados tres veces, el 30 de septiembre, 24 de octubre y 8 de noviembre. Cada valor es la media de, al menos, 25 hojas. ....9

**Tabla 2.** Evolución de la abscisión de las hojas del caqui 'Rojo Brillante' tratado con ácido giberélico (AG, 50 mg l<sup>-1</sup>) tres veces para retardar la recolección del fruto. Influencia de la fecha de recolección: pronto, 11 de noviembre, y tarde, 14 de diciembre. Los tratamientos fueron aplicados tres veces, el 30 de septiembre, 24 de octubre y 8 de noviembre. Cada valor es la media de 10 árboles ..... 10

**Tabla 3.** Efecto de la aplicación en otoño de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>, 50 mg l<sup>-1</sup>), tres veces, para retrasar la recolección del fruto del caqui 'Rojo Brillante' sobre el peso medio de las flores/frutos en tres estados fenológicos. Cada valor es la media de, al menos, 3 repeticiones y 3-5 flores/frutos por tratamiento. \* indica diferencia estadísticamente significativa (P ≤ 0.05). ..... 17

**Tabla 4.** Influencia de la fecha de recolección y la aplicación de ácido giberélico (50 mg l<sup>-1</sup>; AG), tres veces, para retrasarla sobre el número de frutos recolectados por árbol de 'Rojo Brillante' en la cosecha siguiente. Cada valor es la media de 10 árboles. No existen diferencias significativas entre tratamientos. .... 18

**Tabla 5.** Influencia de la fecha de recolección y la aplicación de ácido giberélico (50 mg l<sup>-1</sup>; AG), tres veces, para retrasarla sobre el peso medio de los frutos del caqui 'Rojo Brillante' recolectados en la cosecha siguiente. Cada valor es la media de 15 frutos por árbol y 10 árboles. Letras minúsculas o mayúsculas distintas indican diferencias significativas para una misma fecha o entre fechas, respectivamente (p≤0.05). ..... 19

**Tabla 6.** Influencia de la fecha de recolección y la aplicación de ácido giberélico (50 mg l<sup>-1</sup>; AG), tres veces, para retrasarla sobre la cosecha del caqui 'Rojo Brillante' recolectada al año siguiente. Cada valor es la media de 10 árboles. Letras minúsculas o mayúsculas distintas indican diferencias significativas para una misma fecha o entre fechas, respectivamente (p≤0.05). ..... 21

**Tabla 7.** Efecto de la aplicación en otoño de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>, 50 mg l<sup>-1</sup>) repetida, tres veces, para retrasar la recolección del fruto del caqui 'Rojo Brillante' y de la aplicación de GA<sub>3</sub> (25 mg l<sup>-1</sup>) al inicio de la brotación (GA<sub>3</sub> + GA<sub>3</sub>) sobre el peso medio de las flores/frutos en tres estados fenológicos y el número de frutos por ramo mixto. Cada valor es la media de, al menos, 3 repeticiones y 3-5 flores/frutos por tratamiento. \* indica diferencia estadísticamente significativa (P ≤ 0.05). .... 22

**Tabla 8.** Influencia de la concentración de AG aplicada tres veces sobre la evolución de la coloración del fruto del caqui. 'Rojo Brillante'. Fechas de tratamiento 21 de septiembre y 10 de octubre. Valores expresados en coordenadas Hunter. Cada valor es la media de 25 frutos  $\pm$  ES. Letras distintas para una misma fecha indican diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ). ..... 23

**Tabla 9.** Influencia de la aplicación de la auxina de síntesis 3,5,6-TPA ( $15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) al inicio de la fase lineal del desarrollo del fruto sobre el diámetro medio de los frutos del caqui 'Rojo Brillante' que iniciaron su desarrollo la primavera siguiente al tratamiento con 50 ó  $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  de ácido giberélico para retardar la recolección (otoño de 2017). Valores expresados en mm por fruto. El tratamiento se efectuó el 16 de julio de 2018. Cada valor es la media  $\pm$  ES de los frutos de 5 árboles. Letras distintas en la misma fila indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ). ..... 34

# 1. INTRODUCCIÓN

El caqui (*Diospyros kaki* Thunb.) es un frutal caducifolio originario de la zona subtropical (China, Japón y Corea), donde se empezó a cultivar a finales del siglo VIII. Pero no fue hasta el año 1870 que esta especie se introdujo en España, Francia e Italia (Badenes *et al.*, 2015)

Este frutal, se adapta bien a zonas templadas, entre 40° Norte y Sur. En éstas inicia su latencia a finales de otoño y no es una especie muy exigente en horas frío, si bien los estudios hasta hoy no fijan una exigencia en frío bien determinada (Shanks, 1977; George *et al.*, 1994). En las condiciones climáticas mediterráneas, la brotación se inicia en el mes de marzo, teniendo lugar, a la vez, la diferenciación floral de las yemas. La antesis de las flores suele aparecer entre principios y mitad de abril; el periodo de floración es más corto y el cuajado de la flor tiene lugar a finales de dicho mes.

En el género *Diospyros* se conocen más de 400 especies, pero la que mayoritariamente se cultiva es *D. kaki*, y de ésta se han descrito más de 2000 cultivares. Éstos están clasificados según el origen del fruto (por fecundación o por partenocarpia) y según su astringencia en la maduración (Giordani *et al.*, 2015). Este aspecto, característico de este fruto, aparece por los taninos solubles presentes en la pulpa y por la propiedad de las semillas que generan sustancias volátiles capaces de inhibir su solubilización (Sugiura y Tomana, 1983). La astringencia se pierde si estos taninos solubles se diluyen y se coagulan con compuestos tánicos insolubles (Yonemori *et al.*, 2002).

Los cultivares más cultivados en España son 'Triumph' (mayoritariamente en Andalucía, también denominado 'Sharon') y 'Rojo Brillante' (en la Comunidad Valenciana). Éste último surgió en el municipio de Carlet (Valencia), probablemente de una mutación gemaria espontánea del cultivar 'Cristalino' (Juan *et al.*, 2002). El 'Rojo Brillante' se caracteriza por su capacidad para ser comercializado antes de que la fruta llegue al climaterio, facilitando su consumo con una consistencia más bien dura que le confiere gran valor comercial. Previo a su comercialización, es necesario eliminar su astringencia, lo que se lleva a cabo sometiendo al fruto a una atmósfera del 90%-100% de CO<sub>2</sub> y 30°C durante 24 horas, y dejándolo a continuación 4-5 días a una temperatura de 20°C (Toye *et al.*, 1987). Desde 1998, cuando se fundó el Consejo Regulador de la Denominación de Origen (CRDO) *Kaki Ribera del Xúquer*, este fruto se comercializa bajo la marca *Persimmon*®.

A partir del año 2012, el cultivo y, por tanto, la producción de esta especie aumentó espectacularmente. Según datos de la FAO (FAOSTAT, 2020) en 2018 se cultivaban en España 18.600 ha con una producción de 492.000 t. En la Comunidad Valenciana se estima que en 2019 la producción fue de unas 400.000 t. Este incremento en la producción de un solo cultivar provoca serios problemas de comercialización, ya que por su carácter climatérico debe almacenarse y conservarse a baja

temperatura, y la capacidad de las cámaras de frigoconservación es limitada e incapaz de mantener el ritmo que impone la recolección. Por consiguiente, es necesario implantar técnicas que permitan mantener el fruto en el árbol durante un periodo más o menos prolongado con el fin de programar la recolección de acuerdo con la evolución de la demanda del mercado.

La anticipación de la maduración puede lograrse con la aplicación de  $15 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de ácido 2-cloroetilfosfónico (etefón), un liberador de etileno que consigue anticipar la coloración y el climaterio del fruto. Los tratamientos deben efectuarse cuando el fruto está iniciando el cambio de color (principios de septiembre). Pero esta técnica presenta ciertas dificultades puesto que al acelerar el climaterio del fruto su vida postcosecha se reduce marcadamente.

Más apropiado resulta retardar la coloración del fruto y, con ello, su maduración, mediante la aplicación de ácido giberélico. Las giberelinas son compuestos naturales que actúan como reguladores endógenos del crecimiento y el desarrollo de los vegetales superiores. Estas fitohormonas son también responsables de la senescencia de los tejidos y se han utilizado para retrasar la coloración y recolección de los frutos (Seymour *et al.*, 1993), y se ha sido estudiado también en el caqui (Ben-Arie *et al.*, 1996; Agustí *et al.*, 2004). Los experimentos llevados a cabo en España indican que la eficacia de este tratamiento es óptima cuando se realiza 25 días antes del inicio del cambio de color del fruto, y la respuesta se satura para una concentración de  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (Agustí *et al.*, 2004).

Pero la elevada producción y el deterioro rápido del fruto ha “forzado” a repetir los tratamientos cada vez que los frutos tratados alcanzan un “nuevo” cambio de color, llegando a efectuar 3 y hasta más tratamientos en dos meses, y lo que es más grave, a incrementar, injustificadamente, la concentración aplicada hasta  $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Con ello se consigue prolongar la campaña de comercialización hasta principios de enero.

Estos tratamientos no solo afectan a los frutos, sino también a las hojas que ven retrasada su senescencia y su abscisión un mes respecto de los árboles no tratados. Este retraso en la entrada en latencia es causante de que estos frutales no acumulen el frío necesario y aunque el árbol retrasa la brotación de las yemas, no lo hace en tiempo equivalente a su entrada en latencia, de modo que el desarrollo, vegetativo y reproductivo, sucede de modo anómalo, produciendo hojas de tamaño inferior y flores de baja calidad, afectando en gran medida a la cosecha siguiente.

Con el fin de resolver el problema se aborda, en este Trabajo Final de Máster, el estudio de los efectos de la concentración de ácido giberélico aplicada y el número de veces (hasta tres) que se lleva a cabo sobre la brotación y floración, y se plantean soluciones.

La Hipótesis de este Trabajo es que la aplicación de  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de AG consigue retrasar adecuadamente la recolección sin provocar los efectos negativos sobre la latencia, brotación, floración y desarrollo del fruto que muestra la aplicación de  $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Asimismo, también se busca comprobar que efecto tienen el distinto número de aplicaciones realizadas a una concentración de  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Por otra parte, y dada la dependencia que la brotación tiene de las reservas acumuladas previamente a la entrada en latencia, se ensaya el rayado de ramas antes del reposo vegetativo como vía de acumulación de reservas carbonadas que favorezcan la brotación y el desarrollo vegetativo y reproductivo, y su influencia sobre la cosecha siguiente.

La aplicación de la auxina 3,5,6-TPA (ácido 3,5,6-tricloro-2-piridiloxiacético) se ensaya por primera vez como técnica para aumentar el tamaño final del fruto de los árboles a los que se les retrasó la recolección.

## **2. HIPÓTESIS DEL TRABAJO**

El retraso en la recolección del caqui 'Rojo Brillante' mediante la aplicación de GA<sub>3</sub> antes del cambio de color del fruto retarda la entrada en latencia de las yemas y reduce la acumulación de HF, dificultando la brotación y floración siguientes. Esta puede mejorarse ajustando la concentración de GA<sub>3</sub> y con el rayado de ramas antes del reposo vegetativo.



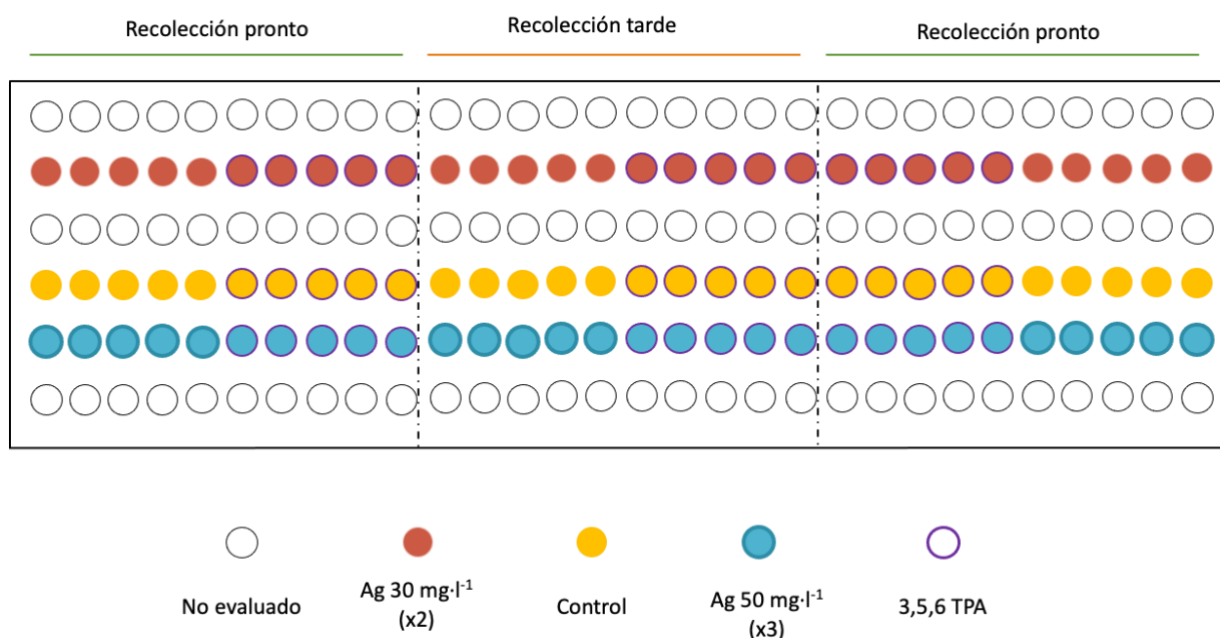
### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo durante dos años consecutivos en dos plantaciones comerciales de árboles adultos de caqui (*Diospyros caqui* Thunb.), cv. Rojo Brillante, de 9 años de edad, injertados sobre patrón *D. Lotus*, con un marco de plantación de 3 x 5 m, podados en vaso, y suelo franco-arcilloso. La primera, está situada en el municipio de L'Alcudia (Valencia) y dispone de riego por goteo; la segunda en el municipio de Alginet (Valencia) y se riega por inundación.

#### 3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL Y TOMA DE MUESTRAS

En otoño del primer año, se aplicaron 0, 30 y 50 mg·l<sup>-1</sup> de ácido giberélico cuando el fruto había iniciado el cambio de color (21 de septiembre). La aplicación de 30 mg·l<sup>-1</sup> se repitió 20 días más tarde (10 de octubre), y la de 50 mg·l<sup>-1</sup>, 20 y 40 días más tarde (30 de octubre).

Cada tratamiento se llevó a cabo en una fila completa de 30 árboles cada una. Las filas se dividieron transversalmente en tres partes de 10 árboles cada una. Las dos extremas se recolectaron pronto (6 noviembre) y la del centro tarde (5 diciembre), y de este modo, pronto y tarde, y para ambos años, se refiere la época de recolección a lo largo del texto (Figura 1).

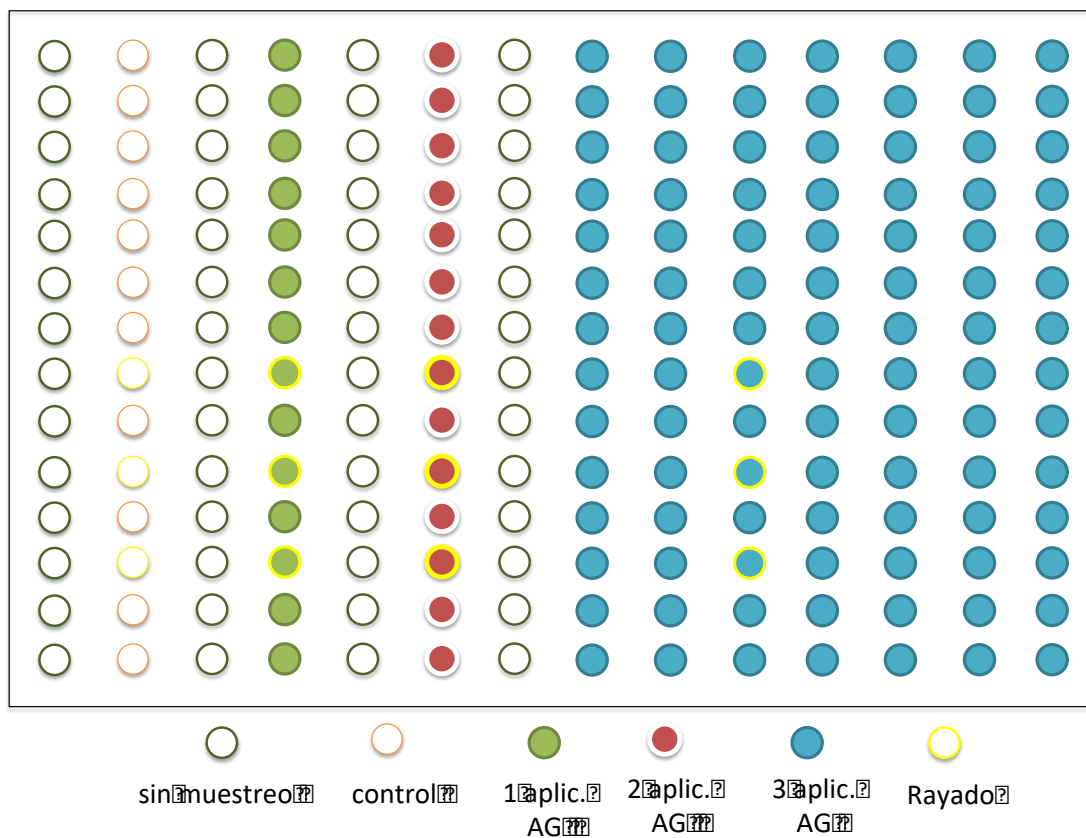


**Figura 1.** Diseño de los tratamientos con AG realizados en otoño, las fechas de recolección y los tratados con 3,5,6 TPA en el inicio del desarrollo lineal del fruto. Cada fila consta de 30 árboles y cada parte dividida, de 10. La recolección **temprana** se llevó a cabo el 6 de noviembre, y la **tardía** el 5 de diciembre.

Al inicio de la fase lineal de crecimiento del fruto (16 de julio), se aplicaron  $15 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de ácido 3,5,6-tricloro-2-piridiloxiacético (3,5,6-TPA) a 9 árboles de cada fila, a razón de 3 por cada una de las tres partes en que se habían dividido las filas (Figura 1).

En otoño del segundo año, se aplicaron 0 y  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de ácido giberélico al inicio del cambio de color del fruto (7 de septiembre). A un segundo grupo de árboles se les repitió el tratamiento 18 días después (15 de septiembre), y a un tercero 18 y 40 (17 de octubre) días después.

En este caso, cada tratamiento se llevó a cabo en una fila completa de 14 árboles cada una, dejando filas sin evaluar entre los tratamientos. Antes de la entrada en reposo (27 de octubre), se rayaron 3 árboles por tratamiento (Figura 2).



**Figura 2.** Diseño de los tratamientos con AG realizados en otoño, y de los árboles rayados por cada uno de ellos. Cada fila cuenta con catorce árboles, estando rayados tres de ellos (25 de octubre). Las fechas de tratamientos fueron 07/09/19, 20/09/19 y 17/10/19.

Periódicamente se determinó la coloración de 10 hojas por árbol, de 5 árboles por tratamiento, mediante un Chlorophyll Meter SPAD-502 (Minolta Corp., NJ, USA), expresando los resultados en unidades SPAD. A su vez, se determinó la abscisión de las hojas, evaluando el porcentaje de las que caían de 5 árboles por tratamiento.

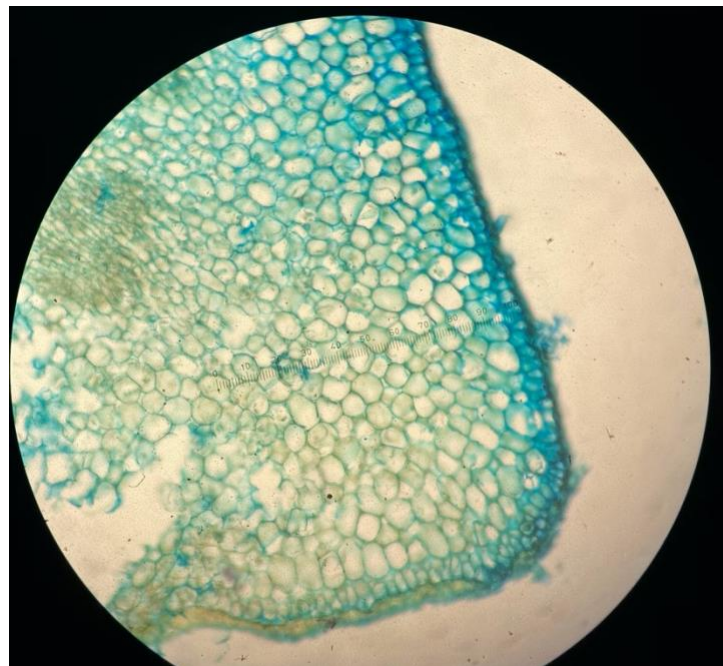
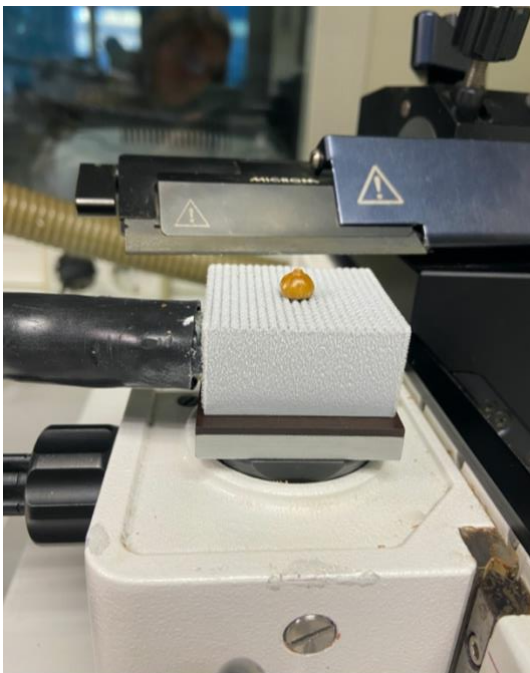
Desde el momento del tratamiento con AG a inicios de brotación hasta el cuajado del fruto, se muestrearon, al azar, cada 8-12 días, de 1 a 6 flores y 10 hojas por árbol, utilizando 3 árboles por cada tratamiento. Asimismo, de cada árbol se midió la longitud de 5 brotes y el número de frutos de 10 ramos mixtos.

Las flores se pesaron en una balanza de precisión (KERN & Sohn GmbH, D-72336 Balingen, Germany). El peso de las hojas se determinó con un granatario.

En fecha próxima a la brotación (6 de febrero) se tomaron muestras de yemas de los árboles control y tratados para su observación en microscopía electrónica de barrido (SEM).

La brotación se evaluó contando las yemas brotadas en diez ramas al azar de cada árbol, tomando, al menos, tres árboles de cada tratamiento.

Periódicamente se tomaron muestras de botones florales, de flores y frutos recién cuajados, que se llevaron al laboratorio a baja temperatura. Se pesaron, y de estos últimos se determinó el número de filas de células del mesocarpo a partir de cortes histológicos realizados con un micrótopo (Microm HM400R, Silding Microtome) y utilizando un microscopio Nikon Eclipse E600 (Tokio, Japón), con un ocular con micrómetro (Figura 3).



**Figura 3.** Muestra de fruto recién cuajado sobre la placa de enfriamiento del micrótopo (Microm HM400R) (1). Corte histológico del mesocarpo (2).

Durante el reposo se tomó una muestra de floema de 10 árboles de cada fila de la que se analizó su contenido en almidón utilizando el protocolo de Eshghi *et al.*, (2007) con ciertas modificaciones (Reig *et al.*, 2018).

En el momento de la recolección se evaluó la cosecha de cada tratamiento contando y pesando el número de frutos por árbol.

### **3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

A los resultados se les aplicó el análisis de la varianza, utilizando el test de Student-Newman-Keuls para la separación de medias. Para ello se utilizó el programa STATGRAPHICS Centurion (Statistical Graphics Corporation, Englewood Cliffs, NJ, USA). A los valores porcentuales se les aplicó la transformación  $\text{arc sen } \sqrt{p}$  para normalizar la muestra.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 EFECTO DEL TRATAMIENTO SOBRE LA SENESCENCIA Y LA ABSCISIÓN DE LAS HOJAS

#### 4.1.1 Efecto sobre la senescencia foliar

La aplicación por triplicado de ácido giberélico (AG) a una concentración de 50 mg·l<sup>-1</sup>, retarda marcadamente la senescencia de las hojas del caqui medida por su color. Así, dos meses después (1 de diciembre) del primer tratamiento mientras las hojas de los árboles control presentaban una coloración de 29.3 unidades SPAD, las de los árboles tratados era de 44.3 unidades SPAD (Tabla 1). Con el tiempo su coloración fue disminuyendo, y el 12 de diciembre (un mes después del tercer tratamiento) los árboles tratados con AG presentaban un valor de 36.1 unidades SPAD, mientras que en los árboles control el valor era de 27.3 unidades SPAD (Tabla 1).

El retraso en la senescencia foliar también se vio promovido por el retraso en la recolección. Los árboles que se habían recolectado en una fecha más temprana (11 de noviembre), presentan una pérdida de coloración en sus hojas más rápida que los árboles aun no cosechados, independientemente del tratamiento. El 7 de diciembre, un mes después de la primera recolección, las hojas de los árboles tratados con AG y todavía por recolectar tenían un valor de 43 unidades SPAD, mientras que en las de los árboles control era de 28.1. Ocho días después de la segunda recolección (21 de diciembre), los árboles tratados y recolectados pronto presentaban un valor de 19 unidades SPAD, frente a 30.2 de los recolectados tarde. El 3 de enero, los valores SPAD eran de 19.4 en los árboles tratados con AG y recolectados pronto, y de 22.1 en los que aún no habían sido recolectados.

**Tabla 1.** Evolución de la coloración de las hojas del caqui 'Rojo Brillante' tratado con ácido giberélico (AG, 50 mg l<sup>-1</sup>) tres veces para retardar la recolección del fruto. Influencia de la fecha de recolección: pronto, 11 de noviembre, y tarde, 14 de diciembre. Los tratamientos fueron aplicados tres veces, el 30 de septiembre, 24 de octubre y 8 de noviembre. Cada valor es la media de, al menos, 25 hojas.

#### UNIDADES SPAD

Tratamientos	1-dic	7-dic	12-dic	21-dic	3-enero
<b>CNT pronto</b>	23.8	19.0	16.5	-	-
<b>CNT tarde</b>	29.3	28.1	27.3	-	-
<b>AG pronto</b>	40.0	41.0	30.3	19.0	19.4
<b>AG tarde</b>	44.3	43.0	36.1	30.2	22.1

#### 4.1.2 Cinética de abscisión

En coherencia con la alteración descrita de la senescencia de las hojas por efecto de los tratamientos, la velocidad de su abscisión también se vio alterada. Así, en el periodo entre el 1 y el 7 de diciembre, el porcentaje de abscisión de hojas de los árboles control pasó del 28% al 85%, independientemente de la fecha de recolección. El 12 de diciembre, estos árboles ya habían perdido el 97% de sus hojas. Sin embargo, en los árboles tratados la caída de las hojas en ese periodo solamente alcanzaba valores del 20% (los recolectados pronto) y 14% (los recolectados tarde)(Tabla 2). En éstos, la abscisión total se produjo el 9 de enero. En resumen, la caída total de las hojas se vio retrasada 25 días por acción del tratamiento.

El retraso en la recolección apenas afectó el proceso de abscisión, si bien se observó un ligero retraso adicional en los árboles tratados y recolectados tarde. Así el 3 de enero, cuando los árboles recolectados ya se habían desprendido del 84% de sus hojas, los que se recolectaron más tarde solamente habían perdido el 63%. No obstante, este retraso no alteró el día en que las hojas de ambos grupos de árboles alcanzaron su abscisión total (Tabla 2).

**Tabla 2.** Evolución de la abscisión de las hojas del caqui 'Rojo Brillante' tratado con ácido giberélico (AG, 50 mg l<sup>-1</sup>) tres veces para retardar la recolección del fruto. Influencia de la fecha de recolección: pronto, 11 de noviembre, y tarde, 14 de diciembre. Los tratamientos fueron aplicados tres veces, el 30 de septiembre, 24 de octubre y 8 de noviembre. Cada valor es la media de 10 árboles

#### % ABSCISIÓN HOJAS

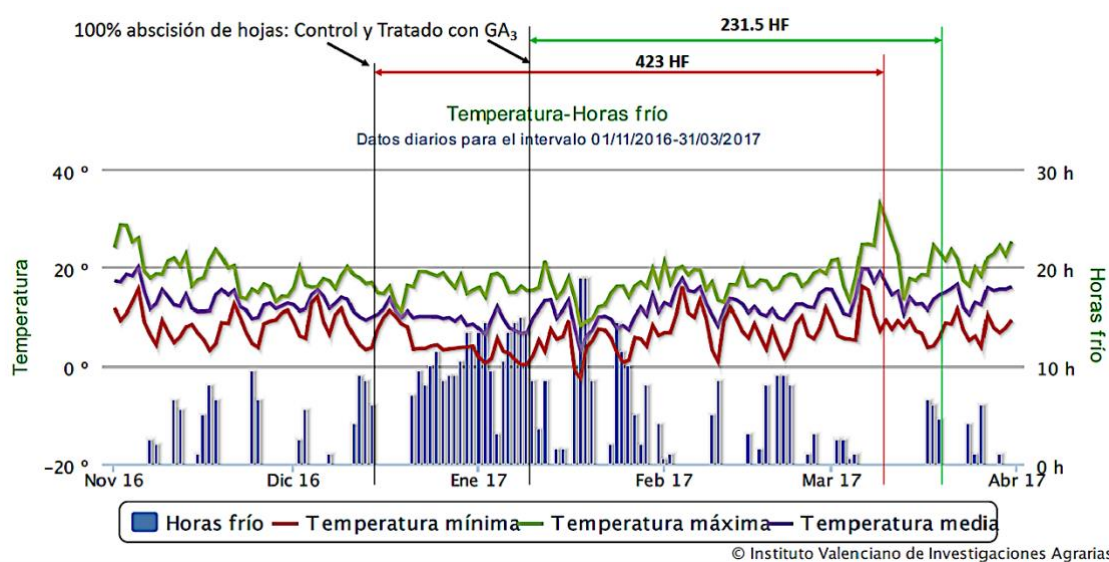
Tratamientos	1-dic	12-dic	21-dic	3-enero
<b>CNT pronto</b>	28.0	96.6	100	100
<b>CNT tarde</b>	26.8	96.4	100	100
<b>AG pronto</b>	8.1	20.0	35	84.2
<b>AG tarde</b>	6.0	14.2	34	62.9

Este efecto del ácido giberélico retrasando la coloración y la abscisión de las hojas ya había sido observado en otras especies leñosas (Brian *et al.*, 1959). Pero en el caso del caqui evidencia un retraso, a su vez, de la entrada en latencia de sus yemas, lo que puede acarrear problemas en la brotación y floración siguientes.

### 4.1.3 Acumulación de horas frío

Las necesidades en horas frío (HF) del caqui no son bien conocidas. Así, mientras Shanks (1977) las evaluó entre 800 y 1000 HF, George et al. (1994) indican una brotación rápida y uniforme con acumulaciones superiores a 300-350 HF, y que, en todo caso, precisa de 40 días de endodormacia antes de brotar (George *et al.*, 1994). A ello se une la particularidad del cv. Rojo Brillante surgido en la Comunidad Valenciana y del que no se ha hecho ningún estudio al respecto.

Mowat (1995), sin embargo, señala que para una temperatura atmosférica de 23°C es la temperatura del suelo la que determina la latencia de las yemas en el caqui, y establece una temperatura mínima de 7°C para que el 50% de las yemas inician la brotación, que apenas alcanza el 35% cuando la temperatura media del suelo es de 13°C. Aunque los valores de la temperatura del suelo no se poseen, los valores térmicos de nuestro año de estudio, con una temperatura media de las máximas, medias y mínimas de 17, 12 y 6°C cabe suponer que los valores térmicos del suelo estarían alrededor de los 13°C de referencia de Mowat (1995)

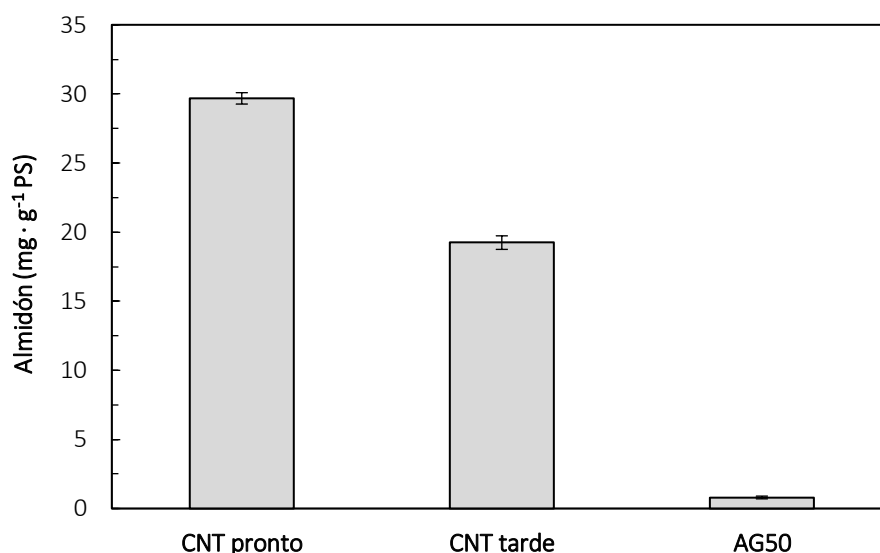


**Figura 4.** Horas frío (HF) acumuladas entre la abscisión total de hojas de los árboles control y tratados con GA<sub>3</sub> (50 mg l<sup>-1</sup>) para retardar la recolección del fruto del caqui 'Rojo Brillante'.

En nuestro experimento, la duración de la latencia de los árboles sin tratar fue de 86 días (del 14 de diciembre al 10 de marzo), mientras que los tratados tres veces con 50 mg l<sup>-1</sup> de AG fue de 70 días (desde el 9 de enero al 20 de marzo), acumulando 423 HF y 231,5 HF, respectivamente. De acuerdo con el criterio de George et al. (1994) los árboles tratados no habrían satisfecho el frío necesario y es lógico que su brotación fuera deficiente.

#### 4.1.4 Acumulación de reservas de almidón

Quince días antes de la brotación, el contenido en almidón del floema de las ramas de un año de edad de los árboles control recolectados pronto (situación natural del cultivo) era significativamente mayor ( $29.7 \text{ mg}\cdot\text{g PS}^{-1}$ ) que el de los árboles recolectados tarde ( $19.2 \text{ mg}\cdot\text{g PS}^{-1}$ ), y en ambos, a su vez, marcada y significativamente más alto que el de los tratados con  $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de AG y recolectados tarde ( $0.8 \text{ mg}\cdot\text{g PS}^{-1}$ ) (Figura 5).



**Figura 5.** Influencia de la recolección tardía y la aplicación de  $50 \text{ mg l}^{-1}$  de  $\text{GA}_3$  tres veces sobre el contenido en almidón de reserva del floema de ramas de un año de edad del caqui 'Rojo Brillante'. Valores para el 14 de febrero. Cada valor es la media de 3 repeticiones biológicas y 2 réplicas químicas. Las barras verticales indican el error estándar. Letras distintas indican significación estadística ( $P \leq 0.05$ ).

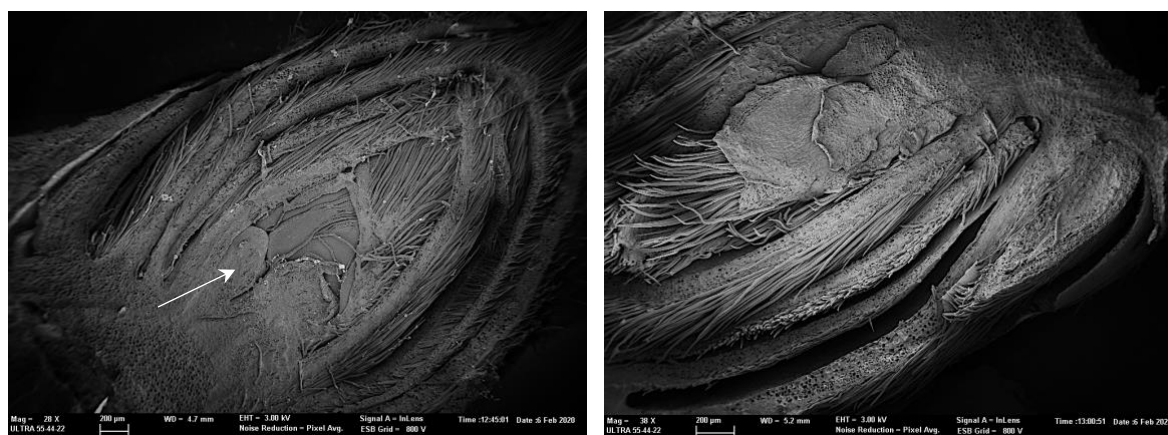
En el peral Nashi, la exposición a las bajas temperaturas favorece la acumulación de sorbitol, sacarosa y hexosas en las yemas, tanto de flor como vegetativas, y ello es concomitante con la hidrólisis de almidón, lo que sugiere la utilización de este carbohidrato de reserva para la síntesis de azúcares solubles durante la latencia (Hussain *et al.*, 2015). En otras Rosáceas el sorbitol es transportado desde las hojas y transformado en fructosa en la yema (Loescher, 1987); y en el melocotonero es sintetizado en la propia yema mediado por el gen *PpeS6PDH* cuya expresión baja al final de la latencia (Lloret *et al.*, 2017). Estos resultados sugieren la necesidad de la yema de disponer de azúcares de consumo al final de la latencia, en el momento de la brotación, para completar el proceso y brotar. El bajo contenido en almidón de los tejidos próximos a la yema de nuestros árboles como consecuencia, de una parte, del retardo en la recolección y, de otra, de la aplicación repetida de  $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de AG, revelan la baja disponibilidad de reservas carbonadas y, por tanto, de capacidad de síntesis de azúcares solubles en sus yemas para completar el proceso y, por tanto, para una brotación satisfactoria.



## 4.2 EFECTO DEL TRATAMIENTO SOBRE LA BROTAÇÃO Y LA FLORACIÓN

### 4.2.1 Diferenciación floral

El 6 de febrero, un mes antes de la brotación de los árboles control y recolectados a su tiempo, se llevó a cabo un examen del estado de desarrollo de las yemas latentes de los árboles control y tratados repetidamente con AG mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).

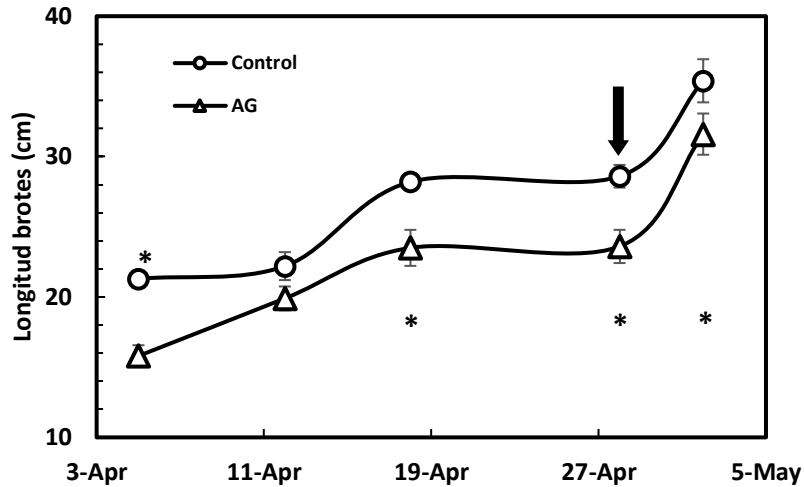


**Figura 6.** Estado de desarrollo de una yema en latencia de árboles de caqui 'Rojo Brillante' control (izqda.) y tratados repetidamente con GA3 para retardar la maduración y recolección. En la yema del árbol control son visibles la diferenciación de las flores (flecha).

En esa fecha, los árboles control ya habían iniciado la diferenciación floral, siendo visibles los meristemas florales en posición axilar (Figura 6). Las yemas de los árboles tratados, sin embargo, seguían en reposo sin mostrar ningún indicio de diferenciación y, de acuerdo con lo expuesto en el apartado anterior, vieron retrasado su desborre y su brotación.

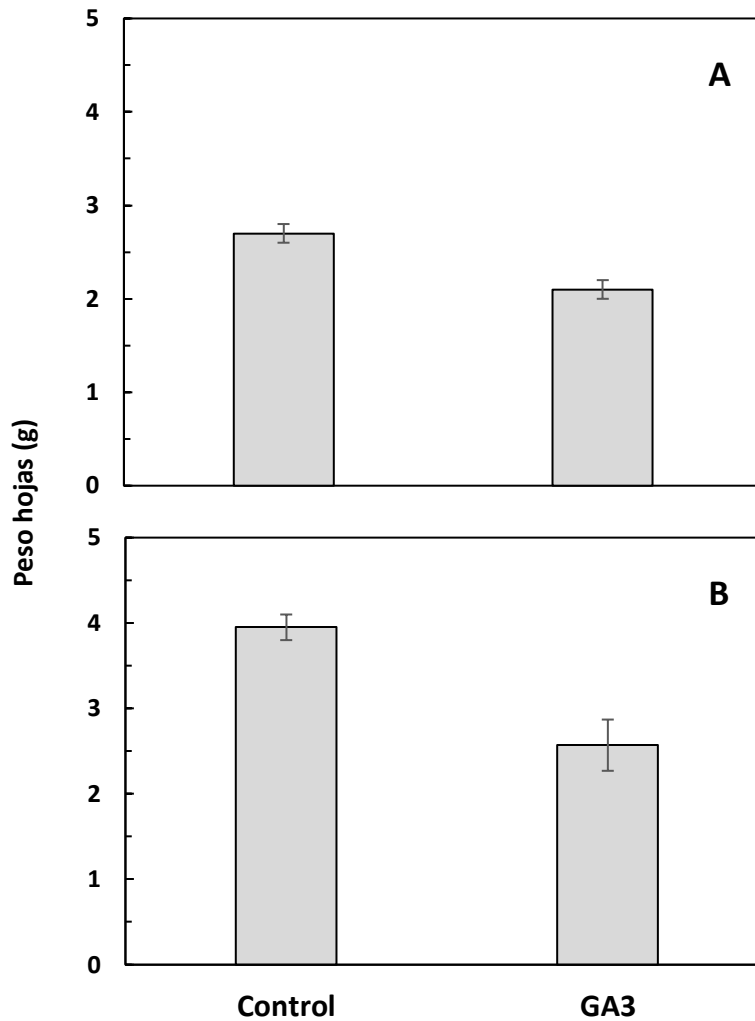
### 4.2.2 Desarrollo vegetativo

Como consecuencia del retraso en la brotación, también se retrasó el desarrollo vegetativo. Sin embargo, éste se vio, a su vez, reducido de modo permanente, de modo que en el momento de la antesis, la longitud de los brotes de los árboles tratados tres veces con  $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de AG era de 23.6 cm y en los árboles sin tratar de 28.6 cm (Figura 7).



**Figura 7.** Evolución de la longitud de los brotes de árboles de caqui ‘Rojo Brillante’ tratados con ácido giberélico (AG, 50 mg l<sup>-1</sup>) tres veces para retrasar la recolección. Cada valor es la media de 15 brotes por tratamiento. La flecha indica el momento de la antesis (28 d de abril). Las barras verticales indican el error standard; algunas barras no son visibles porque el tamaño del símbolo es mayor. El asterisco indica diferencias significativas en cada fecha ( $P \leq 0.05$ ).

Este menor desarrollo de los brotes provocado por el tratamiento se vio acompañado de un menor desarrollo foliar. En el momento de la antesis, el peso de las hojas de los árboles tratados era un 22% menor que el de los árboles control (Figura 8).

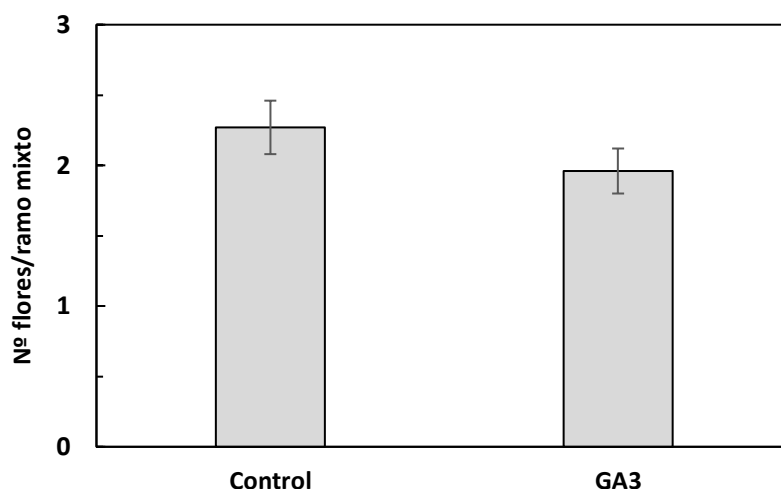


**Figura 8.** Efecto de la aplicación en otoño de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>, 50 mg l<sup>-1</sup>) tres veces para retrasar la recolección del fruto del caqui 'Rojo Brillante' sobre el peso medio de las hojas de la brotación siguiente en antesis (28 abril, A) y durante la fase lineal de crecimiento del fruto (12 junio, B). Cada valor es la media de 30 hojas por tratamiento. Las barras verticales indican el error standard. La diferencia entre tratamientos alcanzó la significación estadística en ambas fechas ( $P \leq 0.05$ ).

Así, mientras las hojas de los árboles control presentaban un peso medio de 2.7 g, las de los árboles tratados pesaban 2.1 g. Y estas diferencias se mantuvieron hasta la fase de crecimiento lineal del fruto; hasta entonces, las hojas de los árboles control aumentaron su peso hasta 3.95 g, mientras que las de los árboles tratados lo hicieron hasta 2.57 g, un 35% menos.

### 4.2.3 Desarrollo reproductivo

Del mismo modo, el desarrollo reproductivo también se vio alterado. El número de flores por ramo mixto de los árboles tratados disminuyó en, aproximadamente, un 13% con respecto al de los árboles no tratados (Figura 9).



**Figura 9.** Efecto de la aplicación en otoño de ácido giberélico (GA3, 50 mg l<sup>-1</sup>), tres veces, para retrasar la recolección del fruto del caqui 'Rojo Brillante' sobre el número de flores por ramo mixto de la brotación siguiente que inician el desarrollo. Cada valor es la media de 15 brotes por tratamiento. Las barras verticales indican el error standard. No existen diferencias significativas entre tratamientos.

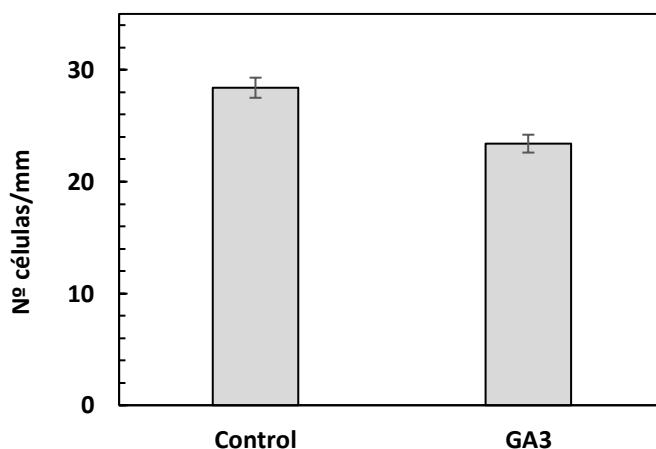
Asimismo, el peso individual de las flores también se redujo significativamente. Así, en antesis las flores de los árboles tratados pesaban un 16% menos que las de los árboles control (1.71 y 2.04 g, respectivamente), y un 7% menos en el momento del cuajado, y esta diferencia se mantuvo hasta el inicio de la fase lineal del crecimiento del fruto (Tabla 3).

Cuando el fruto comienza a crecer linealmente, un retraso en el desarrollo del fruto se ha descrito como irrecuperable (El Otmani *et al.*, 1995), puesto que el mecanismo de crecimiento pasa de ser regulado por la división celular a serlo por la elongación celular (Faust, 1989). Por tanto, si la aplicación repetida de AG para retrasar la maduración y el retraso en la recolección reducen el peso del ovario en dicho estado fenológico, el tamaño final del fruto se ve marcadamente reducido.

**Tabla 3.** Efecto de la aplicación en otoño de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>, 50 mg l<sup>-1</sup>), tres veces, para retrasar la recolección del fruto del caqui 'Rojo Brillante' sobre el peso medio de las flores/frutos en tres estados fenológicos. Cada valor es la media de, al menos, 3 repeticiones y 3-5 flores/frutos por tratamiento. \* indica diferencia estadísticamente significativa (P ≤ 0.05).

ESTADO FENOLÓGICO			
Tratamiento	Antesis	Cuajado	Crecimiento inicial del fruto
Control	2.04 ± 0.14	2.71 ± 0.17	23.9 ± 0.23
GA3	1.71 ± 0.03	2.52 ± 0.15	20.4 ± 0.22
Significación	*	*	*

La reducción del tamaño del ovario se debe a una tasa de división celular más reducida en las flores de los árboles tratados. Dos semanas después de la antesis, mientras los ovarios de las flores de los árboles control tenían un valor medio de 28.4 células·mm<sup>-1</sup>, el de los tratados con AG era de 23.4 células·mm<sup>-1</sup>, alcanzando esta diferencia la significación estadística (P≤0.05) (Figura 10). La menor capacidad de crecimiento de estos frutos explica su menor peso en antesis y en estados fenológicos sucesivos.



**Figura 10.** Efecto de la aplicación en otoño de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>, 50 mg l<sup>-1</sup>), tres veces, para retrasar la recolección del fruto del caqui 'Rojo Brillante' sobre el número de células de los ovarios recién cuajados (12 mayo). Cada valor es la media de 5 ovarios y 30 medidas por ovario. Las barras verticales indican el error standard. Las medias difieren significativamente (P ≤ 0.05).

### 4.3 EFECTOS SOBRE LA COSECHA

El retraso en la recolección no alteró el número de frutos de la cosecha siguiente, y el efecto del tratamiento (AG 50 mg·l<sup>-1</sup>) tampoco. De los árboles tratados con AG y recolectados pronto se recolectaron 639 frutos y de los recolectados tarde 508, y de los árboles control los frutos obtenidos fueron 415 y 597, respectivamente (Tabla 4). Estas diferencias, aún siendo amplias, no alcanzaron la significación estadística.

**Tabla 4.** Influencia de la fecha de recolección y la aplicación de ácido giberélico (50 mg l<sup>-1</sup>; AG), tres veces, para retrasarla sobre el número de frutos recolectados por árbol de 'Rojo Brillante' en la cosecha siguiente. Cada valor es la media de 10 árboles. No existen diferencias significativas entre tratamientos.

Tratamientos	Nº frutos·árbol <sup>-1</sup>	
	11 nov.	12 dic.
Control	414.9 ± 47.6	597.4 ± 40.4
AG	639.5 ± 57.7	508.0 ± 93.7

Este resultado también es coherente con los conocimientos sobre la intensidad de la latencia y su influencia sobre la brotación siguiente. Junto al retraso en el desborre, la caída de yemas, la irregularidad en la brotación, el aborto del (los) estilo(s), alteraciones en el desarrollo del polen, la aparición de pistilos múltiples, etc., se han señalado como anomalías derivadas de la falta de frío invernal, pero nunca se ha descrito un efecto en la reducción del número de flores (Faust, 1989)

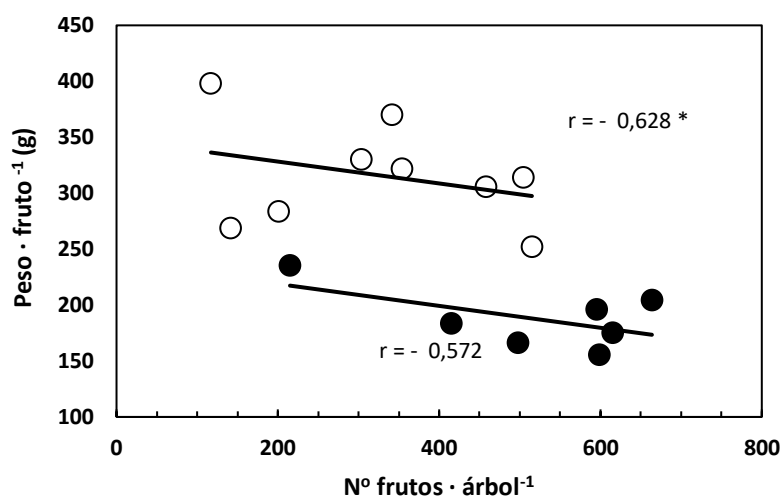
Sin embargo, el peso final de los frutos sí fue alterado significativamente por los tratamientos. El retraso en la recolección redujo el peso de los frutos, tanto en los árboles control (de 316 a 186 g·fruto<sup>-1</sup>) como en los tratados (de 225 a 176 g·fruto<sup>-1</sup>)(Tabla 5). Asimismo, la aplicación de AG también redujo el peso del fruto. La interacción entre ambas variables, fecha de recolección y aplicación de AG, alcanzó en nuestro experimento la significación estadística, lo cual significa que la acción del AG está determinada por la fecha de recolección, y así mientras la acción del AG fue estadísticamente significativa en los árboles recolectados el 11 de noviembre, no lo fue en los recolectados el 14 de diciembre. La fecha de recolección fue, por tanto, un factor más importante que el tratamiento con AG en la determinación del tamaño final del fruto.

Esta reducción del peso del fruto se halla estrechamente relacionada, al menos para los árboles tratados con AG, con el menor número de filas de células registrado (Figura 10).

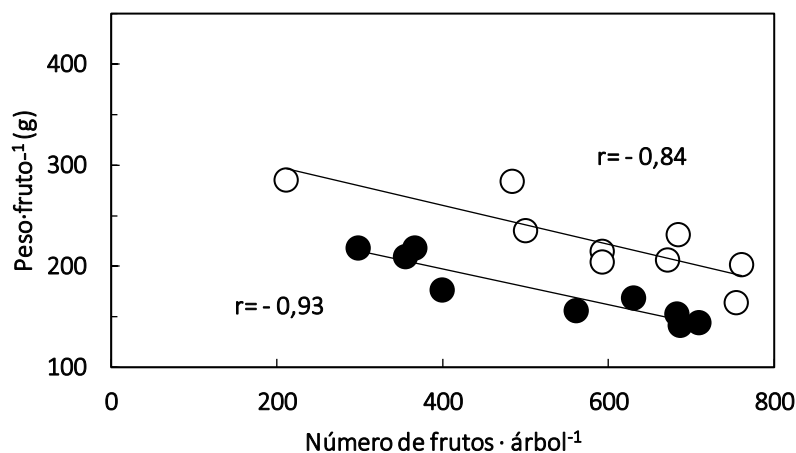
**Tabla 5.** Influencia de la fecha de recolección y la aplicación de ácido giberélico ( $50 \text{ mg l}^{-1}$ ; AG), tres veces, para retrasarla sobre el peso medio de los frutos del caqui 'Rojo Brillante' recolectados en la cosecha siguiente. Cada valor es la media de 15 frutos por árbol y 10 árboles. Letras minúsculas o mayúsculas distintas indican diferencias significativas para una misma fecha o entre fechas, respectivamente ( $p \leq 0.05$ ).

Peso fruto <sup>-1</sup> (g)		
Tratamientos	11 nov.	14 dic.
Control	315.9 ± 28.3 aA	185.5 ± 9.5 B
AG	224.9 ± 9.8 bA	175.9 ± 12.7 B

Pero el tamaño final del fruto también vino condicionado por el número de los que se desarrollaron por árbol, tanto en los árboles control como en los tratados con AG para retrasar la recolección. Al comparar los árboles recolectados pronto y tarde de ambos tratamientos, los recolectados pronto presentan una recta de regresión con pendiente negativa y con su ordenada en el origen significativamente mayor que los recolectados tarde, demostrando, de nuevo, que el retraso en la recolección fue responsable de la reducción del tamaño del fruto con independencia de la aplicación de AG (Figuras 11 y 12).



**Figura 11.** Relación entre el número de frutos por árbol y su peso individual en el caqui 'Rojo Brillante'. Influencia de la la fecha de recolección. Pronto: 11 noviembre, blanco. Tarde: 14 de diciembre, negro.



**Figura 12.** Relación entre el número de frutos por árbol y su peso individual en el caqui 'Rojo Brillante'. Influencia de la aplicación de 50 mg·l<sup>-1</sup> de ácido giberélico aplicada tres veces para retrasar la coloración de los frutos del año anterior y la fecha de recolección. Pronto: 11 noviembre, blanco. Tarde: 14 de diciembre, negro.

La relación negativa entre el número de frutos y su peso individual ha sido señalada para el melocotonero (Chalmers y van den Ende, 1975), ciruelos y albaricoques (Webster y Spencer, 2000), níspero japonés (Hodgson, 1943) y cítricos (Gallasch, 1988), de ahí que el aclareo de frutos sea utilizado mayoritariamente en las Rosáceas de hueso para aumentar el tamaño final de los frutos (Costa y Vizzotto, 2000; Webster y Spencer, 2000). Aunque el número de frutos en el caqui es relativamente reducido y su abscisión durante el desarrollo elevada (Reig *et al.*, 2018), la relación entre el número de frutos por árbol y su peso individual se mantiene como en otras especies. Y en nuestro caso se ve agravada por el tratamiento con AG para retrasar la maduración y el retraso de la recolección, variables ambas que son inseparables, por su objetivo, en condiciones de cultivo. Sin embargo, al separarlas experimentalmente nuestros resultados demuestran que el retraso en la recolección permanece como factor determinante del tamaño final del fruto, independientemente de que el árbol haya sido tratado o no.

La reducción de ambos factores, número de frutos por árbol y peso del fruto, por los tratamientos, sea la aplicación de AG sea el retraso en la recolección, conllevó una reducción de la cosecha. Así, los árboles control alcanzaron 110,8 kg·árbol<sup>-1</sup> en los recolectados tarde, frente a 131,1 kg·árbol<sup>-1</sup> en los recolectados pronto, y los tratados con AG 89,4 y 143,8 kg·árbol<sup>-1</sup> respectivamente (Tabla 6).



**Tabla 6.** Influencia de la fecha de recolección y la aplicación de ácido giberélico (50 mg l<sup>-1</sup>; AG), tres veces, para retrasarla sobre la cosecha del caqui 'Rojo Brillante' recolectada al año siguiente. Cada valor es la media de 10 árboles. Letras minúsculas o mayúsculas distintas indican diferencias significativas para una misma fecha o entre fechas, respectivamente ( $p \leq 0.05$ ).

Tratamientos	Cosecha (kg·árbol <sup>-1</sup> )	
	11 nov.	14 dic.
Control	131.1 ± 15.0 A	110.8 ± 7.5 aB
AG	143.8 ± 13.0 A	89,4 ± 16.5 bB

## 4.4 RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

### 4.1.1 Estímulo del desarrollo vegetativo y reproductivo

Con el fin de compensar los efectos negativos de estos tratamiento, se llevó a cabo una aplicación hormonal con 25 mg·l<sup>-1</sup> de AG al inicio de la brotación para promover el desarrollo. Esta aplicación consiguió elevar el peso medio de las flores, de modo que en el momento de la antesis no difirió significativamente del de las flores de los árboles control, pero sí del peso de las flores de los árboles tratados para retrasar la recolección (Tabla 7).

Dos semanas después de la antesis, el peso de las flores de los árboles tratados con AG en primavera ya era significativamente mayor que el de las flores de los árboles control y tratados en otoño. Como consecuencia de ello, el cuajado en los árboles tratados en primavera aumentó significativamente (3.0 frutos por ramo mixto) respecto de los tratados en otoño y de los árboles control (1.9 y 2.3 por ramo mixto, respectivamente) (Tabla 7). Con el paso del tiempo el efecto del tratamiento en primavera sobre el peso medio de los frutos cambió, y a mediados de junio, las flores de los árboles control, presentaban el peso más elevado y significativamente distinto del de las flores de los árboles tratados para retrasar la recolección, hubieran sido o no tratados de nuevo a inicio de la brotación (Tabla 7). De acuerdo con la relación inversa entre el número de frutos y su peso individual señalado en el apartado anterior, la reducción del peso medio de los frutos de los árboles tratados con AG en primavera se halla relacionada con el mayor número de frutos en desarrollo que soportaban en dicha fecha.

La aplicación de 25 mg·l<sup>-1</sup> de AG al inicio de la brotación también mejoró marcadamente el desarrollo vegetativo, dando lugar a brotes y hojas de mayor tamaño (datos no presentados).

**Tabla 7.** Efecto de la aplicación en otoño de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>, 50 mg l<sup>-1</sup>) repetida, tres veces, para retrasar la recolección del fruto del caqui 'Rojo Brillante' y de la aplicación de GA<sub>3</sub> (25 mg l<sup>-1</sup>) al inicio de la brotación (GA<sub>3</sub> + GA<sub>3</sub>) sobre el peso medio de las flores/frutos en tres estados fenológicos y el número de frutos por ramo mixto. Cada valor es la media de, al menos, 3 repeticiones y 3-5 flores/frutos por tratamiento. \* indica diferencia estadísticamente significativa (P ≤ 0.05).

Tratamiento	Estado fenológico			Nº frutos
	Antesis	Cuajado	Crecimiento inicial del fruto	
Control	2.04 ± 0.14 <b>b</b>	2.71 ± 0.17 <b>ab</b>	23.9 ± 0.23 <b>b</b>	2.3 ± 0.2 <b>a</b>
GA <sub>3</sub>	1.71 ± 0.03 <b>a</b>	2.52 ± 0.15 <b>a</b>	20.4 ± 0.22 <b>a</b>	1.9 ± 0.1 <b>a</b>
GA <sub>3</sub> + GA <sub>3</sub>	1.90 ± 0.23 <b>ab</b>	3.15 ± 0.19 <b>b</b>	20.5 ± 0.22 <b>a</b>	3.0 ± 0.2 <b>b</b>

#### 4.4.2 Reducción de la concentración de AG

De acuerdo con los conocimientos actuales, en el caqui 'Rojo Brillante' la aplicación de AG 25 días antes del cambio de color del fruto retrasa significativamente su coloración (Agustí *et al.*, 2004). Una semana después del tratamiento, la diferencia con los frutos sin tratar es visible y ésta persiste hasta la recolección de éstos. Este efecto logrado con el AG sobre la coloración del fruto depende de la concentración aplicada, y así concentraciones crecientes entre 0 y 30 mg·l<sup>-1</sup> presentan una respuesta a su vez creciente, pero concentraciones superiores ya no consiguen mejorar la respuesta (Agustí *et al.*, 2004). Este tratamiento ha representado un considerable avance en el cultivo y comercialización de esta variedad, permitiendo extender su periodo de recolección hasta 1 mes más allá de lo que es natural.

Los problemas señalados que derivan de la aplicación repetida de 50 mg·l<sup>-1</sup> podrían, por tanto, ser aliviados con la utilización reportada como óptima (Agustí *et al.*, 2004), pero no se ha estudiado el efecto sobre la planta del retraso en la recolección obtenido con 30 mg·l<sup>-1</sup>.

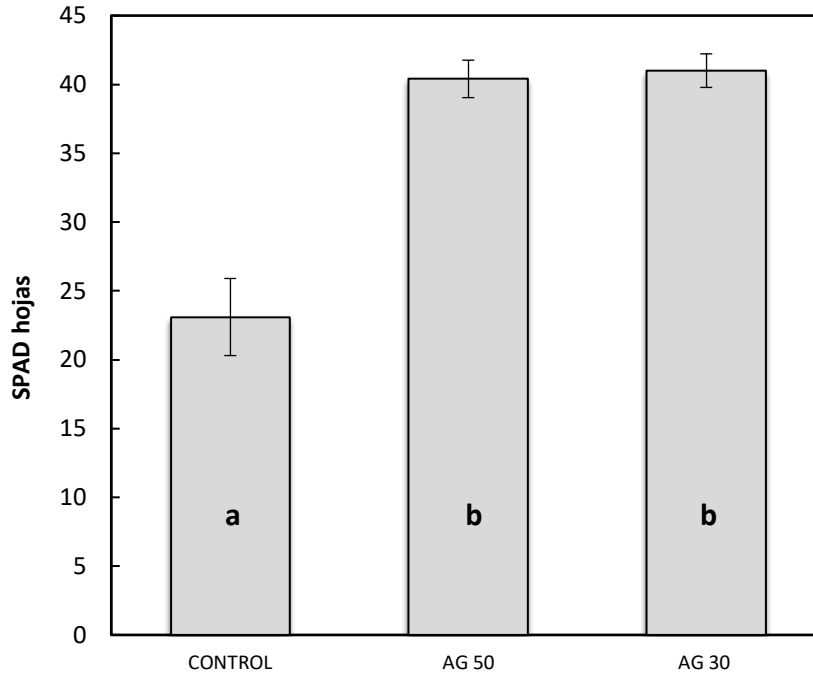
Los resultados de nuestro experimento señalan que el efecto obtenido con la aplicación repetida de 30 mg·l<sup>-1</sup> de AG sobre la coloración del fruto no fue significativamente distinto del logrado con 50 mg·l<sup>-1</sup> en el momento de la recolección (27 de noviembre), 67 días después del primer tratamiento y 48 del segundo. La coordenada *a* de Hunter, que marca el color rojo, si bien 15 días después del tratamiento fue significativamente más baja en los frutos tratados con 50 mg·l<sup>-1</sup>, en el momento de la recolección no difirió estadísticamente de la de los frutos tratados con 30 mg·l<sup>-1</sup>, siendo su valor para ambos tratamientos significativamente más bajo que el de los frutos de los árboles sin

tratar (Tabla 8). Y lo mismo ocurrió con la coordenada *b*, que indica el color amarillo (Tabla 8). Por tanto, en dicha fecha los frutos tratados presentaban un color igual y significativamente menos intenso que los no tratados, lo que permite retrasar su recolección respecto de los segundos.

**Tabla 8.** Influencia de la concentración de AG aplicada tres veces sobre la evolución de la coloración del fruto del caqui. ‘Rojo Brillante’. Fechas de tratamiento 21 de septiembre y 10 de octubre. Valores expresados en coordenadas Hunter. Cada valor es la media de 25 frutos  $\pm$  \_ES. Letras distintas para una misma fecha indican diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ).

Coordenadas Hunter				
Conc. (mg l <sup>-1</sup> )	a		b	
	6 nov	27 nov	6 nov	27 nov
---	21.6 $\pm$ 1.4 c	28.6 $\pm$ 0.4 b	32.0 $\pm$ 0.8	23.7 $\pm$ 0.7 a
50	2.1 $\pm$ 0.7 a	20.1 $\pm$ 0.5 a	30.6 $\pm$ 0.5	30.7 $\pm$ 0.2 b
30	9.7 $\pm$ 1.8 b	18.1 $\pm$ 0.4 a	31.1 $\pm$ 0.5	30.7 $\pm$ 0.3 b

A finales de noviembre, el contenido en clorofila de las hojas, medido en unidades SPAD, no difería significativamente entre las hojas de los árboles tratados con ambas concentraciones de AG (Figura 13).



**Figura 13.** Influencia de la concentración de AG aplicada repetidamente sobre la coloración de las hojas del caqui 'Rojo Brillante'. Valores para el 28 de noviembre. Fechas de tratamiento, 21 de septiembre y 10 de octubre. Cada valor es la media de 10 hojas. Las barras verticales indican el error estándar. Letras distintas indican significación estadística ( $p \leq 0.05$ ).

Desde el inicio de la brotación y hasta la antesis, finales de abril, se realizó una evaluación visual de la evolución de la brotación y del desarrollo vegetativo. Las figuras 14 a 20 muestran el estado de desarrollo de los árboles control, y tratados tres veces con  $30 \text{ mg l}^{-1}$  de AG.

El retraso en la brotación de ambos tipos de árboles fue de 12 días, y en los tratados tres veces con  $30 \text{ mg l}^{-1}$  de AG no fue distinto al observado el año anterior en los tratados también tres veces con  $50 \text{ mg l}^{-1}$  (10 días), lo que indica que la repetición del tratamiento afecta a la brotación independientemente de la concentración aplicada.

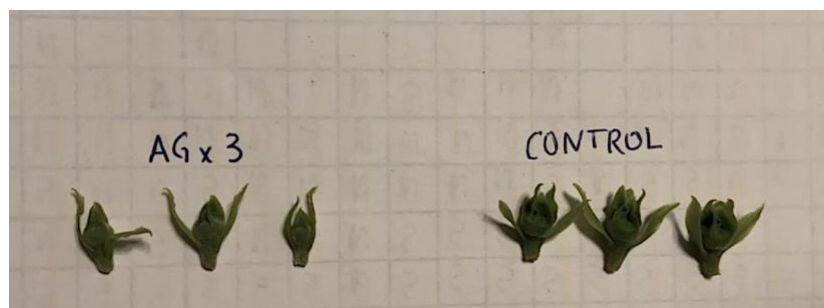
En las figuras 14, 15, 17 y 19 se muestra la evolución del desarrollo vegetativo inicial, y en las 16, 18 y 20, el de las flores de los árboles control y tratados tres veces con  $30 \text{ mg l}^{-1}$  de AG.



**Figura 14.** Estado de la brotación de los árboles control (arriba) en comparación con los tratados tres veces con 30 mg l-1 de ácido giberélico (abajo). Fotografía tomada el 9 de marzo, una semana después del desborre de los árboles control.



**Figura 15.** Estado de la brotación de los árboles control (arriba) en comparación con los tratados tres veces con  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de ácido giberélico (abajo). Fotografía tomada el 26 de marzo, veinte días después del desborre de los árboles control.



**Figura 16.** Estado de desarrollo de los botones florales de árboles control y tratados 3 veces con  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de AG en otoño para retardar la recolección. Figura. tomada el 26 de marzo.



**Figura 17.** Estado de la brotación de los árboles control (arriba) en comparación con los tratados tres veces con  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de ácido giberélico (abajo). Fotografía tomada el 14 de abril.



**Figura 18.** Estado de desarrollo de los botones florales de árboles control y tratados 3 veces con  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de AG en otoño para retardar la recolección. Fotografía tomada el 14 de abril.



**Figura 19.** Estado de la brotación de los árboles control (arriba) en comparación con los tratados tres veces con  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de ácido giberélico (abajo). Fotografía tomada el 30 de abril.

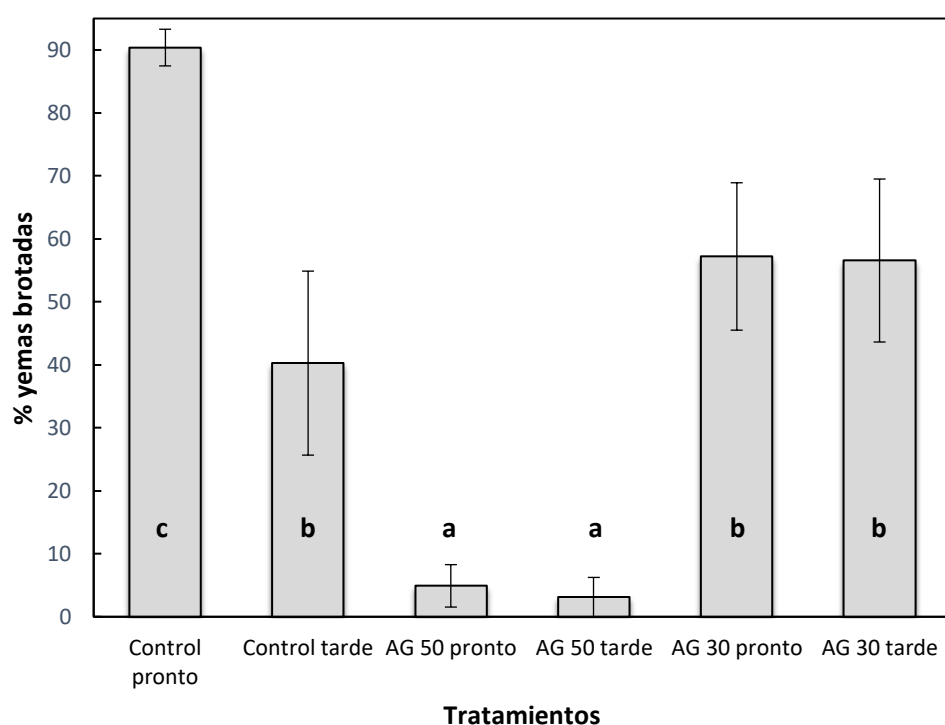


**Figura 20.** Estado de desarrollo de los botones florales de árboles control y tratados 3 veces con  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de AG en otoño para retardar la recolección. Fotografía tomada el 30 de abril.



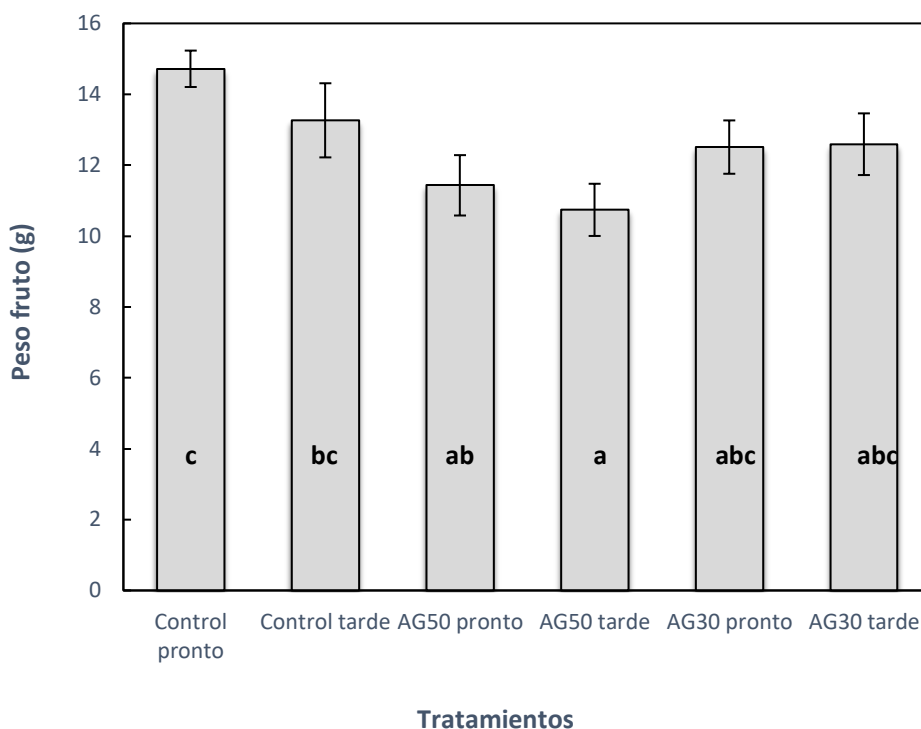
Este retraso en el desarrollo vegetativo y reproductivo es coherente con los efectos conocidos de la falta de frío invernal (HF) en las especies frutícolas (Faust, 1989), y conlleva una reducción de éstos, con la consiguiente repercusión sobre la cosecha.

La evaluación de estas diferencias en brotación reveló que, el 2 de marzo, el retraso en la recolección había reducido el porcentaje de yemas brotadas en un 45% (Fig. 21). En la misma fecha, los árboles tratados con 50 mg·l<sup>-1</sup> de AG apenas habían iniciado la brotación, y sólo el 5% de sus yemas lo habían hecho, con independencia de la fecha de recolección. Sin embargo, los tratados con 30 mg·l<sup>-1</sup> tenían más del 50% de yemas brotadas, y tampoco en este caso la fecha de recolección había alterado el proceso (Figura 21).



**Figura 21.** Influencia de la concentración de AG (30 y 50 mg·l<sup>-1</sup>) aplicada repetidamente y de la fecha de recolección sobre el porcentaje de yemas brotadas en el caqui 'Rojo Brillante'. Fechas de tratamiento, 21 de septiembre y 10 de octubre. Cada valor es la media de 8 ramas de 8 árboles. Pronto: 6 de noviembre; tarde: 5 de diciembre. Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ).

La diferencia entre los árboles por la concentración aplicada, 50 frente a 30 mg·l<sup>-1</sup>, tuvo su efecto sobre el desarrollo inicial del ovario de la flor. Así, en el momento de la antesis el peso de los ovarios de las flores en los árboles tratados era significativamente menor que en los árboles control (Tabla 7). Por eso, cuando a finales de abril algunas flores de los árboles control ya habían iniciado el cuajado, los árboles tratados repetidamente con 30 mg l<sup>-1</sup> de AG aún tenían formas florales en antesis (Figuras 19 y 20).



**Figura 22.** Influencia de la aplicación repetida de AG y de la época de recolección sobre el peso del fruto recién cuajado (B). Cada valor es la media de 50 frutos. Valores para 10 días después del cuajado. Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ). Pronto: 6 noviembre. Tarde: 5 diciembre.

Y este efecto se mantuvo con el tiempo, de modo que 10 días después del cuajado mientras los frutos de los árboles control pesaban 15 y 13 g, según hubieran sido recolectados pronto o tarde, los de los árboles tratados con  $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  pesaban 12.5 g para ambas fechas de recolección y los tratados con  $50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  11.4 y 10.7 g, respectivamente (Figura 22).

Esta reducción del tamaño del fruto, también se registró al inicio del desarrollo lineal del fruto (Tabla 7) y se mantuvo hasta la recolección (Tabla 5), y aunque se relacionó negativamente con el número de frutos cosechados fue siempre más intensa en los árboles recolectados tarde (Figura 22).

El retraso en la entrada en latencia por efecto del ácido giberélico, por tanto, afecta al desarrollo reproductivo hasta que el fruto completa su maduración.

#### 4.4.3. Reducción del número de aplicaciones de AG.

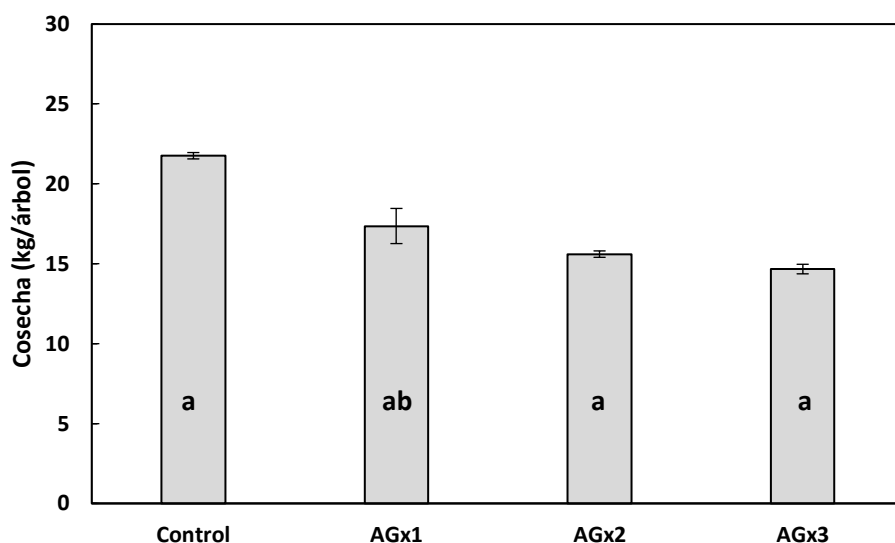
Al inicio de la brotación, el desarrollo de los árboles control sólo era comparable a los tratados una vez con  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de AG en otoño para retrasar la senescencia del fruto y, por tanto, la recolección. En la Figura 23 se muestra el estado de brotación de los árboles de acuerdo con los tratamientos efectuados.



**Figura 23.** Estado de la brotación de los árboles control (A) y tratados con  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de AG, en otoño, una vez (B), dos (C) y tres veces (D). Fotografía tomada el 15 de marzo, 13 días después de iniciada la brotación en los árboles control

Los árboles tratados 2 y tres veces mostraban un retraso considerable. Así, mientras el desborre de yemas en los árboles control y tratados una sola vez con AG se había producido el 2 de marzo, los tratados tres veces aún estaban, el 15 de marzo, iniciándolo, ocupando los árboles que se trataron dos veces una posición intermedia

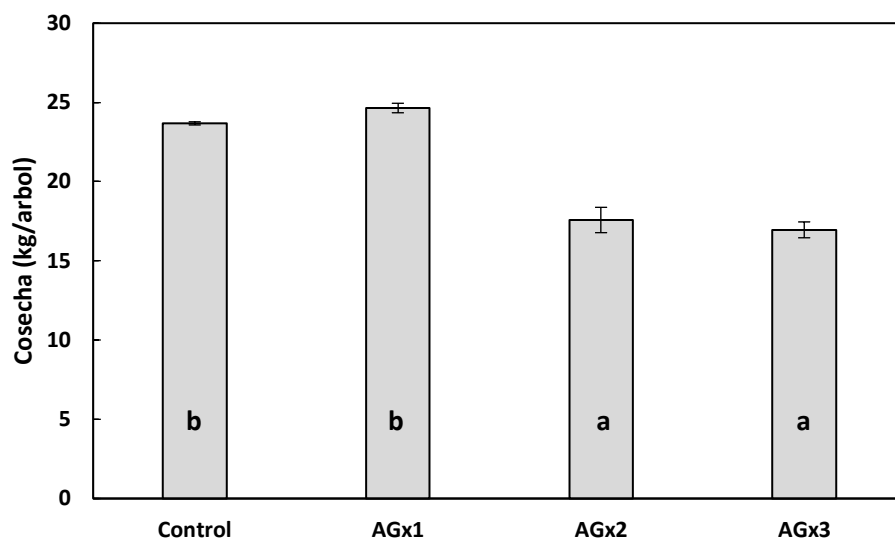
En consecuencia, la cosecha, aunque desciende para una sola aplicación de AG (17 kg por árbol), no difirió significativamente de la de los controles sin tratar (21 kg por árbol), mientras que la de los árboles tratados 2 y tres veces disminuyó significativamente (15 y 14 kg por árbol, respectivamente) (Figura 24). Debe destacarse que en este experimento todos los árboles se recolectaron en la misma fecha, cuando los tratados lo permitieron (11 de diciembre).



**Figura 24.** Influencia de la aplicación de  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de AG y el número de veces (x) sobre la cosecha de árboles de caqui 'Rojo Brillante'. Cada valor es la media de 6 árboles y 10 frutos por árbol. Todos los árboles se recolectaron tarde (11 de diciembre). Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ).

#### 4.4.4. Rayado de ramas antes del reposo

El rayado de ramas antes de que las hojas iniciaran su senescencia mejoró sensiblemente la cosecha de los árboles, y los tratados con AG para retardar la maduración redujeron las diferencias respecto del control. Así, la cosecha de los árboles tratados una sola vez con  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de AG (25 kg por árbol) no difirió significativamente de la de los controles sin tratar (24 kg por árbol), pero sí de los tratados dos y tres veces con AG (18 y 17 kg por árbol, respectivamente) (Figura 25).



**Figura 25.** Influencia del rayado de ramas antes del reposo invernal sobre la cosecha de árboles de caqui 'Rojo Brillante' tratados o no (control) con  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  de AG y su repetición (x). Cada valor es la media de 6 árboles y 10 frutos por árbol. Todos los árboles se recolectaron tarde (11 de diciembre). Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ).

Se ha demostrado que la eficiencia cuántica del fotosistema II ( $\Phi_{\text{PSII}}$ ) aumenta por acción del rayado afectando a las hojas que sustentan los frutos, de modo que cuando se realiza en la época de cuajado éstas aumentan su capacidad fotosintética y ven incrementada la síntesis de carbohidratos, facilitando, así, el cuajado de la flor (Rivas *et al.*, 2007). Estos resultados sugieren que el rayado de ramas en el caqui, dado que el fruto ya ha completado su desarrollo cuando se efectúa, podría facilitar la acumulación de reserva carbonadas en el tallo al activar la  $\Phi_{\text{PSII}}$  y, de este modo, mejorar la salida de la latencia.

Durante la ecolatencia las reservas en almidón son necesarias para facilitarles a las yemas la salida del reposo (Agustí, 2010). Las relaciones entre el contenido en carbohidratos, la materia seca de la madera y la brotación, indican una acumulación de carbohidratos en la madera en época anteriores a la brotación. Esta acumulación, además, es mayor en las proximidades de las yemas de flor. Ello indica la necesidad de acumular reservas para que la brotación pueda tener lugar. El transporte de azúcares a las yemas se produce si se cumplen los requerimientos de baja temperatura característico de cada especie y/o variedad y se halla relacionado con la satisfacción de las necesidades de un proceso, como la división celular, energéticamente muy exigente. Superada la latencia, y tras un periodo de altas temperaturas, la yema brota, y durante este proceso la respiración detectada depende más estrechamente de los carbohidratos movilizados que de las reservas, lo que indica que su hidrólisis y el transporte de azúcares son procesos previos a la brotación. De hecho, al estudiar la relación entre el contenido en carbohidratos de la madera durante la latencia y el

porcentaje de yemas brotadas, la relación es negativa y significativa, pero sólo para el almidón. O lo que es lo mismo, es necesaria la movilización de las reservas carbonadas para que la brotación se produzca (Agustí, 2010).

Por tanto, dada, por una parte, la reducción de la acumulación de frío durante la latencia de las yemas de los árboles tratados repetidamente con AG, y el bajo contenido en almidón de reserva de su tejido floemático (Figura 5), por otra, el aumento de reservas que provoca el rayado de ramas explica por qué las yemas florales de los árboles rayados dan lugar a flores con mayor disponibilidad al cuajado, particularmente en una variedad partenocárpica como el 'Rojo Brillante'.

#### 4.4.5. Estímulo del crecimiento del fruto

La reducción de tamaño de los frutos recolectados tarde y/o tratados repetidamente con 50 mg·l<sup>-1</sup> de AG, fue significativamente mejorado con la aplicación de 15 mg·l<sup>-1</sup> de la auxina de síntesis ácido 3,5,6-tricloro-2-piridiloxiacético (3,5,6-TPA) cuando el fruto iniciaba su crecimiento lineal, con un diámetro medio de 45-50 mm.

Los árboles control y recolectados tarde aumentaron el peso medio de sus frutos de 65.2 g a 70.0 g. Y lo que es más importante, los tratados con 50 mg·l<sup>-1</sup> de AG y recolectados tarde lo aumentaron de 60.7 g a 69.6 g por fruto por acción de esta auxina (Tabla 9).

Es más, con esta aplicación los frutos de los árboles tratados con 30 y 50 mg·l<sup>-1</sup> de AG y recolectados tarde alcanzaron un tamaño similar (69 y 66 mm) al de los frutos control y recolectados pronto (66 mm), esto es, en su momento natural de recolección.

**Tabla 9.** Influencia de la aplicación de la auxina de síntesis 3,5,6-TPA (15 mg·l<sup>-1</sup>) al inicio de la fase lineal del desarrollo del fruto sobre el diámetro medio de los frutos del caqui 'Rojo Brillante' que iniciaron su desarrollo la primavera siguiente al tratamiento con 50 ó 30 mg·l<sup>-1</sup> de ácido giberélico para retardar la recolección (otoño de 2017). Valores expresados en mm por fruto. El tratamiento se efectuó el 16 de julio de 2018. Cada valor es la media ± ES de los frutos de 5 árboles. Letras distintas en la misma fila indican diferencia estadísticamente significativa (P≤0.05).

Tratamientos	Pronto		Tarde	
	Sin tratar	Sin tratar	Sin tratar	TPA
Control	66.5±1.1 a	65.2±0.9 a	65.2±0.9 a	70.0±1.7 b
AG 50	65.9±3.1 b	60.7±1.8 a	60.7±1.8 a	69.6±2.1 c
AG 30	66.3±1.4 b	63.9±1.2 a	63.9±1.2 a	66.4±0.6 b

## 5. CONCLUSIÓN

1. La aplicación de AG, a una concentración de  $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , una sola vez, retarda la maduración y, por tanto, la recolección del caqui con una eficacia similar a la aplicación de  $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .

2. El rayado de ramas previo a la latencia de las yemas alivia los efectos negativos sobre la brotación y floración derivados de la aplicación de AG y del retraso en la recolección.

3. La aplicación de ácido 3,5,6-tricloro-2-piridiloxiacético a los árboles a los que se les retrasa la recolección, a una concentración de  $15 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  al inicio del desarrollo lineal del fruto, aumenta su tamaño final hasta valores similares a los de los árboles sin tratar.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Agustí, M. (2010).** Fruticultura. Ed. Mundi Prensa España. Madrid. 507 pp.

**Agustí, M., Juan, M., Martínez-Fuentes, A., Mesejo, C., Almela, V. (2004).** Calcium nitrate delays climacteric of persimmon fruit. *Ann. Appl. Biol.*, 144: 65-69.

**Badenes, M.L. Naval, M.M., Martínez-Calvo, J., Giordani, E. (2015).** Material vegetal y mejora genética. En: *El cultivo del caqui*. Badenes, M.L., Intrigliolo, D., Salvador, A., Vicent, A. (Eds.), Generalitat Valenciana, Valencia, España, pp 56-80.

**Ben-Arie, R., Bazak, H. Blumenfeld, A. (1986).** Gibberellin delays harvest and prolongs storage life of persimmon fruits. *Acta Hortic.*, 179: 807-813.

**Brian, P. W., Petty, J. H. P., Richmond, P. T. (1959).** Effects of gibberellic acid on development of autumn colour and leaf-fall of deciduous woody plants. *Nature.*, 183 (4653): 58-59.

**Chalmers, D.J. y van den Ende, B. (1975).** A reappraisal of the growth and development of peach fruit. *Aust. J. Plant Physiol.*, 2: 623-634.

**Costa, G. Y Vizzotto, G. (2000).** Fruit thinning of peach trees. *Plant Growth Regul.*, 31: 113-119.

**El Otmani, M., C.L. Lovatt, C.W. Coggins Jr. Y Agustí, M. (1995).** Plant growth regulators in Citriculture: Factors regulating endogenous levels in Citrus. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 14: 367-412.

**Eshghi, S., Tafazoli, E., Dokhani, S., Rahemi, M. y Emam, Y. (2007).** Changes in carbohydrate contents in shoot tips, leaves and roots of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) during flower-bud differentiation. *Sci. Hortic.* 113, 255-260.

**FAOSTATY, (2020).** <http://www.fao.org/faostat/en/#home>

**Faust, M. (1989).** *Physiology of temperate zone fruit trees*. John Wiley & Sons, NY, 338 pp.



- Gallasch, P.T. (1988).** Chemical thinning of heavy crops of mandarins to increase fruit size. Proc. 6th Int. Citrus Congress, 1: 395-405.
- George, A.P., Collins, R.J. y Rasmussen, T.S. (1994).** Phenological cycling of non-astringent persimmon in subtropical Australia. J. Hortic. Sci., 69: 937-946
- Giordani, E., Picardi, E., radice, S. (2015).** Morfología y Fisiología. En: *El cultivo del caqui*. Badenes, M.L., Intrigliolo, D., Salvador, A., Vicent, A. (Eds.), Generalitat Valenciana, Valencia, España, pp 36-55.
- Hogdson, R.W. (1943).** Fruit thinninh experiments with the loquat. Proc. Amer. Soc. Hortic. Sci., 42: 187-192.
- Hussain, S., Niu, Q., Yang, F., Hussain, N. y Teng, Y. (2015).** The possible role of chilling in floral and vegetative bud dormancy release in *Pyrus pyrifolia*. Biol. Plant., 59: 726–734.
- Juan, M., Yagüe, B., gariglio, N., Almela, V., Agustí, M. (2002).** Estimulo de la maduración del caqui (*Dispyros kaki* Thunb) mediante la aplicación de etefón. Frut. Prof., 129: 61-67.
- Lloret, A., Martínez-Fuentes, A., Agustí, M., Badenes, M.L. y Ríos, G. (2017).** Chromatin-associated regulation of sorbitol synthesis in flower buds of peach. Plant Mol. Biol., 95: 507-517.
- Loescher, W.H. (1987).** Physiology and metabolism of sugar alcohols in higher-plants. Physiol. Plant., 70: 553–557.
- Reig, C., Martínez-Fuentes, Mesjo, C. y Agustí, M. (2018).** Hormonal control of parthenocarpic fruit set in ‘Rojo Brillante’ persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.). J. Plant. Physiol., 231: 96-104.
- Rivas, F., Gravina, A., & Agustí, M. (2007).** Girdling effects on fruit set and quantum yield efficiency of PSII in two Citrus cultivars. Tree physiology, 27(4), 527-535.
- Seymour, G.B., Taylor, J.B, Tucker, G.A. (1993).** *Biochemistry of fruit ripening*. Springer-Science Bussines Media, B.V., Dordrecht, N.L., 453 pp.

**Shanks, J. B. (1977).** Cold hardiness in oriental persimmons (*Diospyros kaki*) in Maryland. 68th Annual Report Northern Nut Growers Association, 111.

**Sugiura, A., Tomana, T. (1983).** Relationships of ethanol production by seeds of different types of Japanese persimmons and their tannin content. *HortSci.*, 18: 319-321.

**Toye, J.D. Glucina, P.G., Minamide, T. (1987).** Removal of astringency and storage of 'Hiratanenashi' persimmon fruits. *New Zealand J. Exp. Agric.*, 15: 351-355.

**Webster, A.D. y Spencer, J.E. (2000).** Fruit thinning plums and apricots. *Plant Growth Regul.*, 31: 101-112.

**Yonemori K., Kanzaki S., Sugiura A. (2002).** Current situation of molecular markers for selecting pollination-constant and non-astringent type from breeding populations of Japanese persimmon. *Opt. Medit., Ser. A.* 51: 81-86.