

La investigación agroalimentaria aplicada al beneficio social y económico. Innovación y sostenibilidad en el cultivo del caqui

Nariane Quaresma Vilhena^{1*}, Ana Quiñones² y Alejandra Salvador¹

¹Centro de Tecnología Postcosecha – Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA)

²Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible – Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA)

*quaresma_narvil@gva.es

Resumen

Este artículo recoge los resultados de una Tesis doctoral reconocida por el CES de la Comunitat Valenciana. En ella se abordan aspectos relacionados con la innovación y sostenibilidad en el cultivo de caqui en la región, que actualmente enfrenta importantes retos como la pérdida de producción debido al no cumplimiento de las exigencias de calidad del mercado y a la gestión de excedentes. La investigación demuestra que estrategias como la optimización del manejo de la fertilización, el uso de tratamientos precosecha novedosos y la elección del momento de cosecha pueden mejorar la rentabilidad del Sector. Además, la valorización del caqui a través del secado se presenta como una solución innovadora para reducir el desperdicio y generar nuevos productos. Se ha demostrado que la combinación de prácticas agrícolas sostenibles y avances tecnológicos es clave para garantizar la competitividad y sostenibilidad del sector en un mercado global cada vez más exigente.

1. Introducción

La Comunitat Valenciana ha logrado consolidarse como referente mundial en la producción de caqui gracias a la adaptabilidad del cultivo a las condiciones climáticas mediterráneas y a la creciente demanda tanto en el mercado nacional como internacional. En los últimos años España se ha posicionado como el segundo mayor productor mundial y el primer exportador de caqui fresco (FAOSTAT, 2024). Sin embargo, este crecimiento en la producción también ha traído consigo una serie de desafíos estructurales que amenazan la rentabilidad del cultivo.

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan los productores es la gestión del exceso de producción y la caída de los precios, lo que ha reducido significativamente la rentabilidad del cultivo. En las últimas campañas, cerca del 11 % de la cosecha potencial ha quedado sin recolectar, mientras que más del 16 % de la fruta ha sido descartada en los almacenes de confección por no cumplir con los estándares comerciales (Fernández-Zamudio et al., 2020; Fernández-Zamudio & Barco, 2021). Estas pérdidas postcosecha pueden deberse a un mal manejo tras la recolección y a las exigencias comerciales que dejan fuera del mercado fruta que no cumple con los estándares de calidad. Diferentes factores precosecha que afectan a

la calidad de la fruta pueden ser, además, causa de pérdidas importantes tras la cosecha. Este desperdicio no solo supone una merma en los ingresos de los agricultores, sino que también implica la pérdida de recursos empleados en todas las fases del proceso, desde el cultivo hasta la comercialización del fruto. En este contexto, el sector se enfrenta a un reto clave: encontrar estrategias que permitan minimizar las pérdidas en toda la cadena de suministro, gestionar de forma eficiente los excedentes y fomentar la valorización del producto que no presenta calidad para su comercialización en fresco.

En el marco de la problemática descrita, en la Tesis doctoral desarrollada por Vilhena (2023), se muestra como la optimización de estrategias pre y postcosecha es clave para aumentar la rentabilidad global del cultivo de caqui. Así, la adopción de técnicas innovadoras en el manejo del cultivo del caqui no solo mejora la eficiencia de la producción, sino que genera nuevas oportunidades de negocio a través de la valorización de los frutos descartados, contribuyendo con la reducción del desperdicio de alimentos.

2. Manejo de la fertilización y su impacto en la calidad del caqui

El manejo agronómico adecuado en la fase precosecha es determinante para obtener un producto de alta calidad y reducir las pérdidas durante la cosecha y el almacenamiento. Estudios previos han demostrado que existe una relación estrecha entre las concentraciones de macro y micronutrientes en la planta y los principales parámetros de calidad del fruto (Jivan y Sala, 2014; Milošević et al., 2015). Aunque esta relación está bien documentada en cultivos como los cítricos o la manzana, en el caso del caqui, los estudios son todavía limitados.

La aplicación de fertilizantes, tanto en sistemas de producción convencionales como ecológicos, repercute notablemente en el balance de nutrientes. Mientras que en los cultivos convencionales se opta por mayores tasas de fertilización, en el manejo ecológico se apuesta por incrementar la materia orgánica, lo que modifica el pH del suelo y, en consecuencia, se incrementa la disponibilidad de los nutrientes, mejorando la absorción por la planta (Martínez-Alcántara et al., 2016).

En la presente investigación se ha evaluado la concentración de macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en hojas y frutos de caqui 'Rojo Brillante' cultivado bajo manejo convencional y ecológico (Vilhena et al., 2022a). Se observó que el N es movilizado desde las hojas al fruto a lo largo del periodo de cosecha, mientras que las concentraciones de P y K en las hojas disminuyen sin afectar significativamente su presencia en el fruto, lo que indica su probable almacenamiento en otros órganos antes de la caída de las hojas. Por otro lado, el Ca y el Mg presentan una menor movilidad dentro de la planta, lo que explica su mayor concentración en las hojas en comparación con el fruto. Además, se han identificado diferencias en la distribución de estos nutrientes dentro del fruto: la zona apical suele acumular más N, P y K que la zona basal, mientras que el Ca se transloca progresivamente hacia la parte inferior durante la maduración. Estos factores pueden influir directamente en los parámetros de calidad tras la cosecha, como la firmeza del fruto.

También se han identificado diferencias significativas entre el manejo convencional y el ecológico. En términos generales, los frutos provenientes de cultivos ecológicos presentaron menor concentración de K y mayor contenido de Mg en hojas, así como una menor concentración de Ca y un mayor nivel de N y P en la pulpa. Esto sugiere que el tipo de fertilización puede afectar a la composición nutricional del fruto y, consecuentemente, su calidad.

En el contexto valenciano, donde la agricultura constituye uno de los pilares económicos y sociales, la elección de prácticas agrícolas sostenibles, como la agricultura ecológica, adquiere una dimensión estratégica. Los agricultores que optan por este sistema pueden encontrarse con una menor productividad en términos absolutos. Sin embargo, aunque la producción por hectárea es menor en el sistema ecológico, la eficiencia en la utilización de los fertilizantes es superior. Es decir, la cantidad de nutrientes asimilados por la planta en relación con los fertilizantes aplicados es mayor en la agricultura ecológica. Esto no solo implica un aprovechamiento más racional de los recursos, sino que también representa una ventaja en términos de sostenibilidad y reducción del impacto ambiental.

Además de los macronutrientes, en un segundo estudio se ha demostrado que la concentración de micronutrientes como hierro (Fe), boro (B), manganeso (Mn) y zinc (Zn) también juega un papel relevante en la calidad del caqui (Vilhena et al., 2024). Aunque la fertilización en los sistemas convencionales tiende a aportar mayores cantidades de estos minerales, no siempre se traduce en una mayor concentración en el fruto. En particular, la concentración de Zn y Mn fue mayor en hojas de cultivos ecológicos, lo que podría deberse al efecto del aporte de productos orgánicos como fertilizantes, que incrementan la materia orgánica del suelo, aumentando la disponibilidad de micronutrientes como los descritos.

Otro hallazgo importante fue la relación entre la composición mineral del fruto y sus características de calidad. Se detectó una menor firmeza y una maduración más avanzada en los frutos ecológicos, lo que se asoció con un menor aporte de N en este cultivo. Además, los frutos ecológicos presentaron mayores concentraciones de biocomponentes beneficiosos para la salud, como ácido ascórbico y β -criptoxantina, lo que sugiere que este tipo de producción podría ofrecer ventajas desde el punto de vista nutricional.

En este sentido, los resultados muestran que es fundamental avanzar hacia modelos de producción que mejoren la calidad del cultivo a la vez que garanticen el uso eficiente de los nutrientes y reduzcan el impacto ambiental.

3. Innovación en tratamientos precosecha para mejorar la calidad y conservación del caqui

Uno de los retos a los que se enfrentan los productores de caqui en la Comunitat Valenciana es la corta ventana de recolección de este cultivo. En este sentido, la aplicación de fitorreguladores ha demostrado ser una herramienta eficaz para extender el periodo de recolección y se ha convertido en un factor clave para

optimizar la producción y alargar el periodo en que la fruta está disponible en el mercado.

Tradicionalmente, se utiliza etefón para adelantar la cosecha y ácido giberélico (AG_3) para retrasar la maduración (Agustí et al., 2015). Sin embargo, ambas estrategias presentan limitaciones. Mientras que el etefón induce una maduración rápida, permitiendo una recolección temprana, presenta un efecto en la reducción de la vida útil y del periodo de comercialización. Por otro lado, el AG_3 retrasa la maduración del fruto, prolongando el periodo de cosecha. Así, la fruta que es destinada al almacenamiento frigorífico suele ser tratada en campo con AG_3 y recolectada a mitad o final de campaña con elevada firmeza. Sin embargo, este tratamiento no evita los daños por frío, que tiene como principal síntoma en esta variedad el ablandamiento de la pulpa.

Entre las diferentes estrategias para controlar los daños por frío y mantener la firmeza del fruto durante la comercialización, la aplicación postcosecha de 1-metilciclopropeno (1-MCP) se ha consolidado como una herramienta eficaz. Este compuesto actúa como inhibidor de la percepción del etileno, evitando su unión a los receptores y, por tanto, bloqueando las respuestas fisiológicas asociadas a su acción (Salvador et al., 2004). En el cultivo del caqui, su aplicación en postcosecha es habitualmente utilizada a lo largo de toda la campaña comercial. En fruta tratada con etefón, su aplicación permite mantener la firmeza de la fruta durante el periodo de comercialización. En el caso de fruta que va a ser frigoconservada, el tratamiento con 1-MCP es un requisito para mantener la calidad del fruto, evitando los daños por frío (Besada et al., 2008).

Recientemente, la aplicación de 1-MCP en precosecha se está explorando en diferentes cultivos como una alternativa innovadora. Este tratamiento ha mostrado diversos efectos positivos, como el retraso en la pérdida de firmeza, la disminución de la producción de etileno y el mantenimiento de la calidad tras la cosecha (Vilhena et al., 2023). En caqui se ha estudiado su efecto en diferentes escenarios comerciales (Vilhena et al., 2022b). Así, a principio de campaña, el 1-MCP aplicado en precosecha en combinación con etefón, permite ralentizar la pérdida de firmeza del fruto durante el periodo de comercialización. En fruta destinada a frigoconservación, el tratamiento de 1-MCP tres días antes de la cosecha, permite conseguir los mismos efectos positivos que su aplicación en postcosecha, sin la necesidad de recurrir a procesos más costosos o que impliquen un mayor consumo energético.

Así, la aplicación de 1-MCP en precosecha no solo optimiza los procesos de recolección y almacenamiento, sino que también tiene un impacto directo en la sostenibilidad del sector. Menos tratamientos postcosecha significaría una reducción en el consumo de energía de las cámaras de frío, menores pérdidas de producto por deterioro y una mayor eficiencia en la comercialización.

4. ¿Cuándo cosechar el caqui? La clave para una mejor conservación

El éxito de la campaña del caqui 'Rojo Brillante' depende en gran medida de su capacidad para mantenerse en óptimas condiciones durante el periodo de

almacenamiento y la posterior comercialización. Para lograrlo, la frigoconservación es una herramienta esencial, pero no siempre garantiza los mismos resultados. ¿Por qué algunas partidas de caqui conservan mejor su firmeza que otras?

Como se ha dicho anteriormente, el caqui destinado a la frigoconservación suele ser fruta tratada con AG₃ en precosecha y recolectada entre noviembre y diciembre, cuando la fruta aún presenta altos niveles de firmeza. Además, previamente a la conservación frigorífica, la fruta es tratada con 1-MCP para evitar el ablandamiento como síntoma del daño por frío. Sin embargo, la experiencia práctica ha demostrado que el comportamiento postcosecha de la fruta puede variar considerablemente en función del momento de recolección.

Así, se ha analizado esta cuestión en detalle, evaluando cómo evoluciona la firmeza del caqui durante su almacenamiento en frío en función del momento de recolección (Vilhena et al., 2022c). Para ello, se analizaron frutos cosechados en distintas fechas, desde mediados de noviembre hasta principios de diciembre, determinando sus cambios fisicoquímicos y estructurales durante una conservación prolongada.

Los resultados fueron concluyentes: pequeñas diferencias en la firmeza de la fruta en el momento de la recolección tienen un impacto significativo en su potencial de conservación. Los caquis recolectados a mediados de noviembre, con firmezas superiores a 48 N, mantuvieron mejor su estructura y firmeza tras tres meses de almacenamiento. En cambio, los frutos cosechados más tarde, con firmezas en torno a 40 N, perdieron su firmeza mucho más rápido, alcanzando niveles críticos en solo 30 días.

Este fenómeno se explica fundamentalmente por cambios microestructurales que sufre la pulpa del fruto durante la maduración. Las técnicas de microscopía revelaron que los frutos cosechados antes de diciembre presentan una mayor integridad en sus paredes celulares, lo que les permite soportar mejor el posterior almacenamiento prolongado.

Estos hallazgos tienen implicaciones directas para el sector. Ajustar el momento de cosecha puede mejorar la eficiencia de la cadena de suministro, reduciendo las pérdidas durante la comercialización y asegurando una fruta de mayor calidad para el consumidor final. Además, optimizar la conservación del caqui no solo supone un beneficio económico para los productores, sino que también contribuye a la sostenibilidad del sector, minimizando el desperdicio alimentario y reduciendo el consumo energético en los almacenes frigoríficos.

5. El secado del caqui: una oportunidad para reducir el desperdicio y generar valor añadido

La estacionalidad del cultivo de caqui y los excedentes de producción generan importantes pérdidas que suponen un desafío para los productores. ¿Cómo aprovechar mejor estos frutos que no llegan al mercado en fresco? Una posible respuesta está en el secado del caqui, una técnica tradicional en países asiáticos que

podría ser una alternativa viable para dar una segunda vida a este cultivo en la Comunitat Valenciana.

El secado natural del caqui ha sido estudiado como una estrategia innovadora para valorizar la producción del caqui 'Rojo Brillante' (Vilhena et al., 2020). En este proceso, la fruta pierde progresivamente humedad, modificando su textura y sabor. Dependiendo del estado de madurez en el momento de la recolección, el secado natural permite obtener un caqui semiseco (con humedad alrededor del 50 %) en aproximadamente tres semanas, un producto muy apreciado en países asiáticos por su textura blanda y su dulzura natural (Li, 2012).

Durante este proceso, la fruta sufre cambios estructurales significativos. La pulpa se vuelve gelatinosa debido a la pérdida de agua, mientras que la piel desarrolla una capa externa rígida que protege el interior del fruto. Además, el secado provoca la desaparición natural de la astringencia, sin la necesidad de tratamientos adicionales. Aunque estos resultados confirman que el caqui 'Rojo Brillante' es apto para el secado natural, el largo tiempo requerido para alcanzar la humedad deseada podría ser un obstáculo para su aplicación a gran escala.

Así, para mejorar la viabilidad del proceso en la industria, en un siguiente estudio se evaluó el uso de aire caliente como una alternativa de secado más rápida y eficiente (Cervera-Chiner et al., 2024). Aplicando temperaturas controladas entre 35 y 45 °C, se consiguió reducir significativamente el tiempo de secado, logrando una humedad óptima en menos de dos semanas. Sin embargo, la calidad final del producto depende en gran medida de la temperatura utilizada. Mientras que a 35 °C, el caqui mantiene una textura blanda similar a la del secado natural, a 45 °C la pulpa se endurece excesivamente, afectando su calidad comercial. Por tanto, el desafío está en encontrar el equilibrio entre eficiencia y calidad para desarrollar un producto atractivo para el consumidor.

La incorporación del caqui seco como un nuevo producto en el mercado no solo ayudaría a reducir el desperdicio alimentario, sino que también abriría nuevas oportunidades comerciales para el sector agroalimentario valenciano.

6. Consideraciones finales

Los avances en el manejo agronómico, la optimización de tratamientos pre y postcosecha y la valorización de los excedentes de producción han demostrado ser claves para mejorar la rentabilidad y sostenibilidad del cultivo del caqui a lo largo de toda la cadena de suministro. La integración de estrategias innovadoras no solo permite reducir pérdidas y optimizar la comercialización, sino que también abre nuevas oportunidades de mercado. En un contexto de creciente exigencia por modelos agrícolas más sostenibles y eficientes, la investigación agroalimentaria aplicada y la implementación de soluciones científicas seguirán siendo fundamentales para fortalecer la competitividad del sector del caqui de la Comunitat Valenciana a nivel internacional.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) a través del proyecto RTA2017-00045-C01, por la Generalitat Valenciana (proyecto IVIA-52201) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Nariane Quaresma Vilhena agradece al INIA por la ayuda FPI-INIA (PRE2018-085833).

Bibliografía

Agustí, M., Reig, C., Mesejo, C., & Martínez-Fuentes, A. (2015). Técnicas para mejorar la calidad del fruto. En: Badenes, M. L., Intrigliolo, D. S., Salvador, A. & Vicent, A. (Eds.), *El cultivo del caqui*, 177-202. València: Generalitat Valenciana.

Besada, C., Arnal, L., & Salvador, A. (2008). Improving storability of persimmon cv. Rojo Brillante by combined use of preharvest and postharvest treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 50(2-3), 169-175.

Cervera-Chiner, L., Vilhena, N. Q., Larrea, V., Moraga, G., & Salvador, A. (2024). Influence of temperature on 'Rojo Brillante' persimmon drying. Quality characteristics and drying kinetics. *LWT*, 197, 115902.

FAOSTAT (2024). <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.

Fernández-Zamudio, M. A., Barco, H., & Schneider, F. (2020). Direct measurement of mass and economic harvest and post-harvest losses in Spanish persimmon primary production. *Agriculture*, 10(12), 581.

Fernández-Zamudio, M. A., & Barco, H. (2021). La cuantificación de las pérdidas de cosecha en el eslabón de origen, una asignatura pendiente. *Agrícola Vergel*, 430, 36-41.

Jivan, C., & Sala, F. (2014). Relationship between tree nutritional status and apple quality. *Horticultural Science*, 41(1), 1-9.

Li, B. (2012). A brief introduction to postharvest research and utilization of persimmon (*Diospyros kaki*) in China: Ancient time to today. In: *V International Symposium on Persimmon*, 996 (pp. 373-378).

Martínez-Alcántara, B., Martínez-Cuenca, M. R., Bermejo, A., Legaz, F., & Quinones, A. (2016). Liquid organic fertilizers for sustainable agriculture: Nutrient uptake of organic versus mineral fertilizers in citrus trees. *PloS one*, 11(10), e0161619.

Milošević, T., Milošević, N., Glišić, I., Nikolić, R., & Milivojević, J. (2015). Early tree growth, productivity, fruit quality and leaf nutrients content of sweet cherry grown in a high density planting system. *Horticultural Science*, 42(1), 1-12.

Salvador, A., Arnal, L., Monterde, A., & Cuquerella, J. (2004). Reduction of chilling injury symptoms in persimmon fruit cv.'Rojo Brillante' by 1-MCP. *Postharvest Biology and Technology*, 33(3), 285-291.

Vilhena, N. Q. Reducing Postharvest Losses in Persimmon. Pre and Postharvest Aspects Involved in Fruit Quality and New Strategies for Valorization. 2023. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.

Vilhena, N. Q., Cervera-Chiner, L., Moreno, A., & Salvador, A. (2023). Recent Development in the Preharvest 1-MCP Application to Improve Postharvest Fruit Quality. *New Advances in Postharvest Technology*, 1-18.

Vilhena, N. Q., Gil, R., Llorca, E., Moraga, G., & Salvador, A. (2020). Physico-Chemical and Microstructural Changes during the Drying of Persimmon Fruit cv. Rojo Brillante Harvested in Two Maturity Stages. *Foods*, 9(7), 870.

Vilhena, N. Q., Gil, R., Vendrell, M., & Salvador, A. (2022b). Effect of preharvest 1-mcp treatment on the flesh firmness of 'Rojo Brillante' persimmon. *Horticulturae*, 8(5), 350.

Vilhena, N. Q., Quiles, A., Gil, R., Llorca, E., Fernández-Serrano, P., Vendrell, M., & Salvador, A. (2022c). Slight changes in fruit firmness at harvest determine the storage potential of the 'Rojo Brillante' persimmon treated with gibberellic acid. *Horticulturae*, 8(2), 140.

Vilhena, N. Q., Quiñones, A., Rodríguez, I., Gil, R., Fernández-Serrano, P., & Salvador, A. (2022a). Leaf and fruit nutrient concentration in Rojo Brillante persimmon grown under conventional and organic management, and its correlation with fruit quality parameters. *Agronomy*, 12(2), 237.

Vilhena, N. Q., Salvador, A., Morales, J., Bermejo, A., & Quiñones, A. (2024). Ionomics Concentration and Metabolomic Profile of Organically and Conventionally Produced 'Rojo Brillante' Persimmon. *Agronomy*, 14(1), 113.