



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

Secado de caqui "Rojo Brillante" como estrategia para valorizar destríos. Efecto de la temperatura de secado en las propiedades fisicoquímicas y nutricionales.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Agronómica

AUTOR/A: Marugán González, María

Tutor/a: Moraga Ballesteros, Gemma

Cotutor/a: Cervera Chiner, Lourdes

Cotutor/a externo: Salvador Pérez, Amparo Alejandra

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

## **Secado de caqui “Rojo Brillante” como estrategia para valorizar destríos. Efecto de la temperatura de secado en las propiedades fisicoquímicas y nutricionales.**

El caqui (*Diospyros kaki* T.) es uno de los principales cultivos de la Comunidad Valenciana. Entre las variedades astringentes destaca “Rojo Brillante” por su gran productividad y calidad. La elevada producción de caqui y la corta temporada de recolección, han provocado un aumento de las pérdidas postcosecha. Éstas podrían reducirse utilizando la técnica de secado natural del caqui entero, popular en países asiáticos (*Hoshigaki*). Sin embargo, la larga duración del proceso podría acortarse aplicando aire caliente por convección a bajas temperaturas, sin comprometer la calidad del producto final. Tras analizar diferentes temperaturas de secado (35 °C, 40 °C y 45 °C) con el fin de obtener un producto con una humedad final del 30% fueron necesarios 12, 8 y 7 días en los tratamientos de secado a 35 °C, 40 °C y 45 °C, respectivamente. Las principales diferencias observadas en la fruta deshidratada en función de la temperatura fueron el color más oscuro para la fruta secada a 35 °C, la textura más dura y corchosa en el secado 45 °C y con una epidermis secundaria más gruesa y una insolubilización de los taninos durante el proceso de secado más rápida al aumentar la temperatura. La capacidad antioxidante se vio disminuida con el secado, pero sin diferencias significativas entre las tres temperaturas, en cambio los carotenoides no se vieron afectados. La composición nutricional y mineral no fue afectada por el proceso de secado del caqui entero “Rojo Brillante”, destacando por su alto contenido en fibra y un bajo contenido en materia grasa, siendo el macroelemento mayoritario el potasio, seguido por el fósforo y los microelementos principales el hierro y el zinc.

Con todo ello, se determinó que el secado a 40 °C es el óptimo puesto que permite obtener un producto de calidad, pero empleando menor tiempo que el de 35°C y un menor coste energético que el de 45 °C.

*Palabras clave: caqui entero deshidratado, compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, minerales, carotenoides, taninos.*

Alumna: María Marugán González

Tutoras: Gemma Moraga Ballesteros y Lourdes Cervera Chiner

Cotutora: Amparo Alejandra Salvador

Curso académico: 2023-2024

Valencia, septiembre 2024

## **Drying of “Rojo Brillante” persimmon as a strategy to valorize wastes. Effect of drying temperature on physicochemical and nutritional properties.**

The persimmon (*Diospyros kaki* T.) is one of the main crops of the Valencian Community. Among the astringent varieties, “Rojo Brillante” stands out for its great productivity and quality. The high production of persimmon and the short harvesting season have caused an increase in post-harvest losses. These could be reduced by using the natural drying technique of whole persimmon, popular in Asian countries (Hoshigaki). However, the long duration of the process could be shortened by applying hot air by convection at low temperatures, without compromising the quality of the final product. After analyzing different drying temperatures (35 °C, 40 °C and 45 °C) in order to obtain a product with a final humidity of 30%, 12, 8 and 7 days were necessary in the drying treatments at 35 °C, 40 °C and 45 °C, respectively. The main differences observed in the dehydrated fruit as a function of temperature were the darker color for the fruit dried at 35 °C, the harder and corky texture in the dried fruit at 45 °C and with a thicker secondary epidermis and an insolubilization of tannins during the drying process faster as the temperature increases. The antioxidant capacity was decreased with drying, but without significant differences between the three temperatures, however, the carotenoids were not affected. The nutritional and mineral composition was not affected by the drying process of the whole “Rojo Brillante” persimmon, standing out for its high fiber content and low fat content, the majority macroelement being potassium, followed by phosphorus and microelements. The main ones are iron and zinc.

With all this, it was determined that drying at 40 °C is optimal since it allows obtaining a quality product, but using less time than 35 °C and a lower energy cost than 45 °C.

*Key words: dried whole persimmon, bioactive compounds, antioxidant capacity, minerals, carotenoids, tannins.*

Student: María Marugán González

Tutors: Gemma Moraga Ballesteros y Lourdes Cervera Chiner

Co-tutor: Amparo Alejandra Salvador

Academic course: 2023-2024

Valencia, September 2024

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis tutoras Gemma Moraga Ballesteros y Lourdes Cervera Chiner. Su compromiso, guía y experiencia han sido clave en la realización de este trabajo. A lo largo de todo el proceso, me han brindado una orientación imprescindible, aportando tanto en lo académico como en lo personal. Espero algún día llegar a alcanzar el nivel de conocimiento y profesionalidad que ambas representan.

A mi cotutora Alejandra Salvador por su colaboración y ayuda durante mis prácticas en el IVIA.

A mis padres Belén y José y a mi hermano Pedro, por su apoyo incondicional y por estar siempre ahí. Su confianza en mí ha sido fundamental para llegar a este punto.

A Pablo, acabar esta etapa de tu mano es de las mejores cosas que me han pasado.

# Índice

---

1. Introducción .....	1
1.1. Origen, botánica y morfología del caqui.....	1
1.2. El cultivo del caqui "Rojo Brillante" y su importancia.....	2
1.3. Pérdidas postcosecha y estrategias para reducir los destríos del caqui "Rojo Brillante".....	4
1.4. Secado por aire caliente.....	6
2. Objetivo .....	7
3. Material y Métodos.....	8
3.1. Preparación de las muestras.....	8
3.2. Evaluación del producto a lo largo del tiempo de secado.....	9
3.2.1. Contenido de actividad del agua y humedad.....	9
3.2.2. Contenido total en sólidos y taninos solubles.....	9
3.2.3. Espesor de la epidermis.....	11
3.3. Caracterización del producto final.....	11
3.3.1. Diámetros de la fruta.....	11
3.3.2. Color .....	12
3.3.3. Textura.....	12
3.4. Compuestos bioactivos.....	13
3.4.1. Capacidad Antioxidante: DPPH y FRAP.....	13
3.4.2. Contenido de carotenoides totales.....	16
3.5. Composición nutricional y mineral .....	17
3.6. Análisis estadístico .....	18
4. Resultados y discusión .....	18
4.1. Evaluación del producto a lo largo del tiempo de secado.....	18
4.1.1. Humedad, sólidos solubles y actividad del agua .....	18
4.1.2. Contenido de taninos solubles .....	21
4.1.1. Espesor de la epidermis.....	22
4.2. Caracterización del producto final.....	23
4.2.1. Diámetros de la fruta.....	24
4.2.2. Color .....	25
4.2.3. Textura.....	28
4.3. Compuestos bioactivos.....	29

4.3.1. Capacidad antioxidante: DPPH y FRAP .....	29
4.3.2. Contenido de carotenoides totales .....	30
4.4. Composición nutricional y mineral. ....	31
5. Conclusiones.....	34
6. Bibliografía .....	35

# Índice de figuras

---

<b>Figura 1.</b> Parcela de caquis (02/06/2024). .....	1
<b>Figura 2.</b> A) Hojas de caqui. B) Fruto en desarrollo (02/06/2024). .....	2
<b>Figura 3.</b> Frutos de la variedad “Rojo Brillante”. .....	3
<b>Figura 4.</b> Disposición de los frutos en la cámara de secado. ....	8
<b>Figura 5.</b> Medidor de la actividad de agua. ....	9
<b>Figura 6.</b> Placa 96-well NUNC F-bottom Microwell plate con muestras a las que se les ha aplicado el protocolo de Folin-Denis. ....	11
<b>Figura 7.</b> Pie de rey para medición de diámetro longitudinal. ....	11
<b>Figura 8.</b> Medición del color mediante un espectrocolorímetro Minolta. ....	12
<b>Figura 9.</b> Determinación de la textura de la fruta mediante texturómetro Instron Universal. ....	13
<b>Figura 10.</b> Extractos de las muestras. ....	14
<b>Figura 11.</b> Preparación de los extractos. A) Tubos de centrífuga. B) Filtración del extracto con matraces aforados y papel de filtro. ....	14
<b>Figura 12.</b> Protocolo para la determinación de la capacidad antioxidante por el método FRAP. A) Baño a 37 °C. B) Cubetas de espectrofotómetro con extractos de la curva patrón. ....	15
<b>Figura 13.</b> Rectas patrón de Trolox para el método DPPH (A) y FRAP (B). ....	15
<b>Figura 14.</b> Protocolo para la determinación del contenido de carotenoides totales. A) Placa agitadora, B) Embudos de decantación. C) Cubetas de vidrio con los extractos. ....	16
<b>Figura 15.</b> Recta patrón de $\beta$ -caroteno. ....	17
<b>Figura 16.</b> Protocolo para determinación de minerales. ....	18
<b>Figura 17.</b> Humedad del caqui “Rojo Brillante” durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD $p < 0,05$ . ....	19
<b>Figura 18.</b> Sólidos solubles totales (SST) del caqui “Rojo Brillante” durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD $p < 0,05$ . ....	20
<b>Figura 19.</b> Actividad del agua ( $a_w$ ) del caqui “Rojo Brillante” durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD $p < 0,05$ . ....	21
<b>Figura 20.</b> Taninos solubles (TS) del caqui “Rojo Brillante” durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD $p < 0,05$ . ....	22
<b>Figura 21.</b> Espesor de la epidermis secundaria del caqui “Rojo Brillante” durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD $p < 0,05$ . ....	23

<b>Figura 22.</b> Aspecto del caqui ‘Rojo Brillante’ en la etapa inicial y al final de cada proceso de secado a 35 °C (12 d), 40 °C (8 d) y 45 °C (7 d). .....	24
<b>Figura 23.</b> Luminosidad (L*), croma (C*) y tono (h*) del caqui “Rojo Brillante” de la fruta fresca y durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD p <0,05. ....	26
<b>Figura 24.</b> Coordenadas a* y b* del caqui “Rojo Brillante” de la fruta fresca y durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD p <0,05.....	27
<b>Figura 25.</b> Diferencias de color total ( $\Delta E^*$ ) del caqui “Rojo Brillante” durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Letras iguales en cada serie indican grupos homogéneos en el ANOVA simple realizado considerando un nivel de significancia del 95%.....	28
<b>Figura 26.</b> Textura del caqui “Rojo Brillante” durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Letras iguales en cada serie indican grupos homogéneos en el ANOVA simple realizado considerando un nivel de significancia del 95%.....	29
<b>Figura 27.</b> Capacidad Antioxidante por los métodos de DPPH y FRAP del caqui entero “Rojo Brillante” fresco y tras los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C. Letras iguales en cada serie indican grupos homogéneos en el ANOVA simple realizado considerando un nivel de significancia del 95%.....	30
<b>Figura 28.</b> Carotenoides totales del caqui entero “Rojo Brillante” fresco y tras los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C. Letras iguales en cada serie indican grupos homogéneos en el ANOVA simple realizado considerando un nivel de significancia del 95%.....	30

## Índice de tablas

---

<b>Tabla 1.</b> Diámetros longitudinal y ecuatorial del caqui entero “Rojo Brillante” fresco y tras los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C. Letras iguales en cada serie indican grupos homogéneos en el ANOVA simple realizado considerando un nivel de significancia del 95%. ....	25
<b>Tabla 2.</b> Comparación de la composición mineral y nutricional del caqui “Rojo Brillante” entre seco y fresco y en base seca y húmeda.....	33

## RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

A. Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.	X			
ODS 3. Salud y bienestar.	X			
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.			X	
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.		X		
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				X
ODS 12. Producción y consumo responsables.			X	
ODS 13. Acción por el clima.				X
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

B. Descripción de la alineación del TFG/TFM con los ODS con un grado de relación más alto.

Este Trabajo Fin de Máster se alinea con los siguientes ODS:

**-ODS 2. Hambre cero:** la selección del mejor método de secado del caqui “Rojo Brillante” permitirá abastecer a una mayor cantidad de población y, por ende, reducir al hambre. Esto es debido a que se trata de un fruto perecedero que alargará su vida útil considerablemente una vez sometido al secado, evitando el desperdicio por mal estado.

**-ODS 3. Salud y bienestar:** el producto obtenido tras el proceso de secado, caqui seco, se ha sometido a diversos procedimientos para comprobar sus propiedades físicas, químicas y composición mineral. De esta manera, se garantiza que el fruto contiene los valores nutricionales óptimos y es adecuado para el consumidor. Además, el caqui entero deshidratado es apreciado en países asiáticos por su alto valor nutritivo y sus beneficios para la salud, llegándose a considerar un alimento medicinal por poseer propiedades diuréticas debido a su alto contenido en potasio y calcio. También antioxidantes y fitonutrientes, por lo que previene el envejecimiento prematuro de las células.

Es un energizante natural debido a su alto contenido en azúcares y potasio ayuda a combatir la fatiga, cansancio y estrés. Su alto contenido en fibra le confiere un efecto laxante, siendo así un poderoso remedio natural contra el estreñimiento.

Además, el caqui es rico en vitamina C y carotenos (vitamina A, vitamina K y zeaxantina), que ayudan a proteger la salud, ocular de la degeneración macular, cataratas, daños en la retina.

**ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico:** el fomento de la comercialización de caqui seco permitirá la creación de un nuevo sector alimentario poco reconocido hasta el momento en España que vendrá de la mano de la creación de nuevos puestos de trabajo.

**-ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras:** el estudio de un nuevo método de secado en caqui permitirá el desarrollo de maquinaria adecuada a la temperatura necesaria, que reducirá tanto los costes como el tiempo de producción.

**-ODS 10. Producción y consumo responsables:** conocer el método de secado más favorable para el caqui permitirá, como ya se ha mencionado, reducir el desperdicio alimentario y, por ende, ajustar la producción al consumo necesario de la población.

# 1. Introducción

## 1.1. Origen, botánica y morfología del caqui

El caqui es una angiosperma perteneciente a la Familia Ebenaceae, Género Diospyros, Especie *Diospyros kaki* Thunb. El caqui es un frutal característico de zonas templadas, que ha logrado adaptarse a las zonas mediterráneas. Esta especie necesita un período de reposo invernal, a partir del cual las yemas diferenciadas brotarán en la siguiente primavera. Así pues, desde el punto de vista fenológico, requiere un periodo de reposo, floración, brotación, cuajado del fruto y crecimiento del mismo. El fruto alcanza su máximo crecimiento al final del ciclo vegetativo, antes del siguiente reposo invernal. El árbol (Figura 1) es caducifolio vigoroso. Puede alcanzar entre 10 y 14 metros de altura, entrando en producción a partir del cuarto año de injerto. Su madera es de color grisáceo y sus hojas (Figura 2A) son grandes, gruesas, ovaladas, de pecíolo corto y color verde oscuro brillante (Ragazzini, 1985; IVIA, 2016).



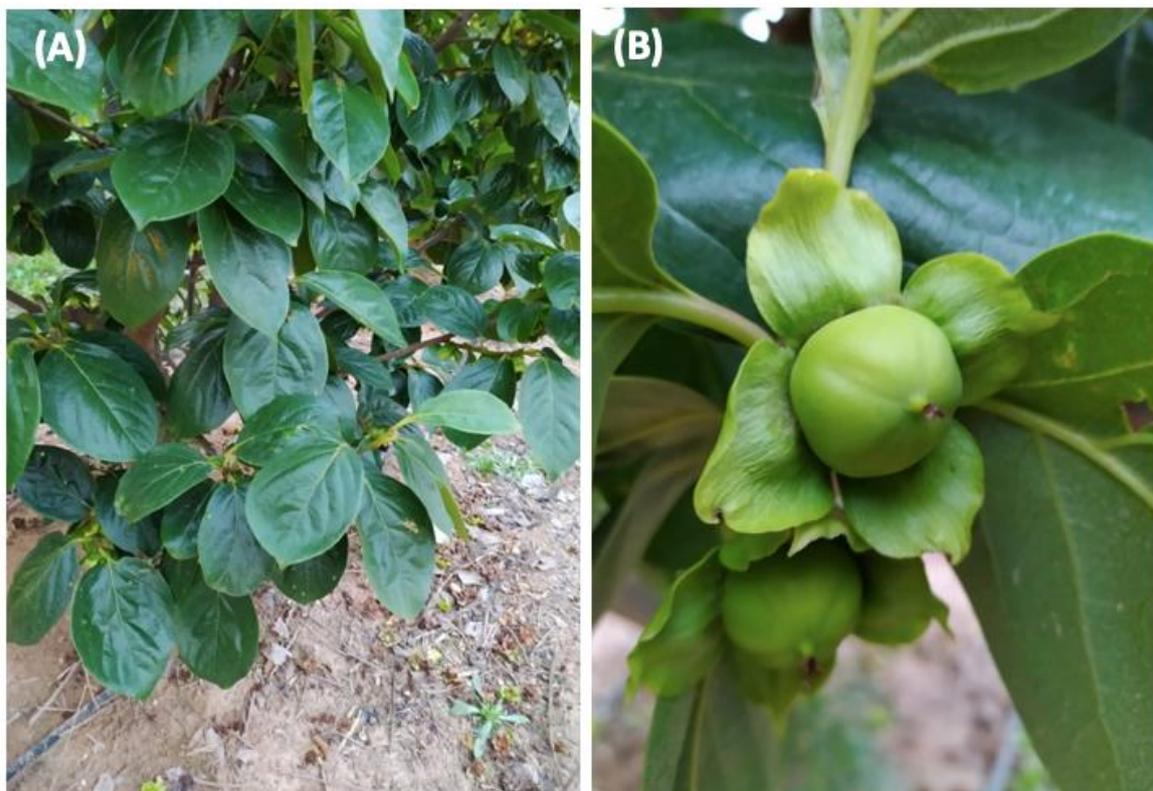
*Figura 1. Parcela de caquis (02/06/2024).*

En cuanto a su floración, las flores de caqui son de color blanco cremoso y se localizan en las axilas de las hojas, en la base del pedúnculo, a partir de la 2ª o la 3ª hoja de la brotación del año. El árbol puede presentar tres clases de flores distintas: femeninas, masculinas, y hermafroditas (con pistilos y estambres). En un mismo árbol, pueden hallarse flores femeninas, femeninas y masculinas, o los tres tipos de flor al mismo tiempo (IVIA, 2016). La fase de plena floración tiene lugar a lo largo de la primavera de forma escalonada, con una duración entre 10 y 15 días (Giordani *et al.*, 2015).

Sin embargo, las principales variedades comerciales únicamente poseen flores femeninas, puesto que dan lugar a frutos de mayor tamaño y forma redondeada. Tales frutos provienen de un proceso de partenocarpia, sin previa fecundación y, por ende, sin semillas. Los pedúnculos de las flores

masculinas continúan en el árbol durante todo el otoño. De esta manera, se pueden distinguir las variedades y árboles que han producido las flores en primavera (IVIA, 2016).

El fruto (Figura 2B) del caqui es una baya globosa y lobulada que alcanza unos 200-300 gramos de peso, dependiendo de la variedad (Agrícola Vergel, 2018). Durante los meses de mayo a agosto experimenta una abscisión fisiológica que alcanza el 30-40% de los cuajados iniciales, de manera que adapta la cosecha a sus posibilidades productivas. La temporada de producción se concentra en los meses de octubre, noviembre y diciembre.



*Figura 2. A) Hojas de caqui. B) Fruto en desarrollo (02/06/2024).*

Durante su desarrollo es muy astringente gracias a su elevado contenido de taninos solubles en el mesocarpio de los mismos. Éstos se insolubilizan durante la maduración del fruto en el árbol, obteniendo finalmente un producto no astringente listo para consumo humano.

## **1.2. El cultivo del caqui "Rojo Brillante" y su importancia**

Los primeros registros encontrados del caqui se sitúan en China y datan del siglo VII, para luego extenderse hacia Japón y Corea, que cuentan con más de 2.000 variedades (CANSO, 2020).

El caqui es uno de los principales cultivos de la Comunidad Valenciana, siendo España el principal exportador y el segundo productor a nivel mundial (Malagón, 2020; ICEX, 2024; Fernandez-Zamudio *et al*, 2020).

En el siglo XX aparece en la Ribera del Xúquer (Valencia), la variedad autóctona astringente "Rojo Brillante", originada por una mutación espontánea de la variedad local "Cristalino", también

cultivada en dicha zona (Kaki Persimon Denominación de Origen Protegida Ribera del Xúquer, 2024). La variedad “Rojo Brillante” destaca especialmente por su gran productividad y calidad, diferenciándose del resto de variedades a nivel mundial por su calibre (80-85mm) y peso medio (300 g), forma oblonga y color de piel naranja y pulpa naranja claro (Badenes, 2014).

El caqui de la variedad “Rojo Brillante” (Figura 3) es una fruta de aroma y sabor dulce que presenta una piel delicada a los roces superficiales causados por hojas y ramas, por lo que es habitual encontrar sobre la superficie del fruto pequeñas manchas de color negruzco.



*Figura 3. Frutos de la variedad “Rojo Brillante”.*

Destaca por su alto contenido en compuestos bioactivos como vitamina C, provitamina A (esencial para el desarrollo embrionario y el crecimiento infantil), poder antioxidante (disminuye el riesgo de enfermedades degenerativas), capacidad antiinflamatoria. Además, el fruto es rico en fibra, fósforo (necesario para los tejidos), potasio (asociado a la disminución de enfermedades cardiovasculares), contribuye a una reducción del colesterol (por su contenido en pectinas) y cuenta con la mayoría de los aminoácidos necesarios para el cuerpo humano (Yaqub *et al.*, 2016; Enriquez *et al.*, 2020; CANSO, 2020).

El proceso de eliminación de la astringencia se produce de diferente manera según la variedad cultivada. En algunos casos, la astringencia del fruto se va perdiendo cuando éste está en el árbol, mientras el fruto continúa siendo duro. En otras ocasiones, la astringencia desaparece por sobremaduración tanto natural como artificial. Cabe mencionar que la polinización y la formación de semillas influyen notablemente en la pérdida de la astringencia (IVIA, 2016).

La astringencia del caqui es causada por su contenido en taninos. Estos son compuestos fenólicos que tienen la capacidad de precipitar proteínas y otros compuestos orgánicos, lo que causa la sensación de astringencia (sequedad y aspereza en la boca) cuando estos entran en contacto con nuestra saliva (Goldner *et al.*, 2007). Para evitar este hecho, es necesario llevar a cabo una

insolubilización de los taninos del fruto, es decir, transformar de los taninos solubles en formas insolubles.

En la actualidad, el tratamiento más comúnmente empleado se comenzó a utilizar en España en la variedad “Rojo Brillante” en 1997 y se trata de una técnica poscosecha con altas concentraciones de dióxido de carbono a 20 °C y 90% HR para eliminar la astringencia del fruto manteniendo su firmeza (Besada *et al.*, 2018). Todo ello, permite la recolección del mismo antes de su completa maduración, y comercializar la fruta con pulpa firme, un menor grado de azúcares y le posibilita obtener una vida comercial más prolongada que en el caso del caqui blando tradicional. Su aplicación implicó un aumento tanto de la producción como de la comercialización de la variedad que hasta entonces había utilizado como única técnica la sobremaduración de los frutos, que provocaba la pérdida de firmeza de la pulpa, dificultando su manipulación y, por ende, exportación (Perucho, 2015).

### **1.3. Pérdidas poscosecha y estrategias para reducir los destríos del caqui “Rojo Brillante”.**

La cosecha del caqui se realiza en otoño y en la mayoría de las variedades son necesarios dos o tres pases entre uno y tres meses. La recolección de los frutos es manual y necesita una esmerada manipulación, puesto que los golpes ocasionados en este periodo pueden producir daños y alteraciones fisiológicas en los frutos que pueden suponer unas pérdidas de hasta un 29,5 % de la producción (Fernández-Zamudio *et al.*, 2020).

La elevada producción de caqui junto a su corta temporada comercial y la necesidad de realizar tratamientos que incrementan el coste de producción, han ocasionado notables pérdidas poscosecha. Es por este motivo que se han estudiado diversas estrategias que incrementen el valor de la fruta desechada, de entre las que destacan los tratamientos precosecha para retrasar la maduración del fruto que permiten ampliar los tiempos de recolección y comercialización. En el caso del caqui “Rojo Brillante” se han realizado con éxito tratamientos en campo con ácido giberélico (GA3) en el momento del cambio de color del fruto (González *et. Al.*, 2021, Ben-Arie *et al.*, 1996; Lee *et al.*, 1997; Nakano *et al.*, 1997; Agustí *et al.*, 2003).

La frigoconservación es un método esencial en la prolongación de la vida poscosecha de multitud de frutas y hortalizas, debido a que las bajas temperaturas ralentizan su actividad bioquímica, reducen el crecimiento y propagación de microorganismos y disminuyen la pérdida de humedad del fruto. Sin embargo, la conservación de los frutos a temperaturas inadecuadas puede producir defectos fisiológicos (daños por frío), que aparecen tras un periodo de exposición prolongada a temperaturas inferiores a 10-15 °C, pero superiores al punto de congelación del fruto (Artés y Artés-Hernández, 2003).

Los principales síntomas de daño por frío en la variedad “Rojo Brillante” son ablandamiento de la pulpa y pardeamiento interno. Éste último aparece especialmente en conservaciones muy prolongadas provocando un oscurecimiento del área central del fruto y la aparición de nódulos en la pulpa de la zona superior del fruto (Arnal y Del Río, 2004; Arnal *et al.*, 2005). En “Rojo Brillante” los daños por frío usualmente se manifiestan tras un par de días a temperatura ambiente.

Los tratamientos postcosecha más destacados para la reducción de los daños por frío son las atmósferas controladas, los tratamientos por calor y los tratamientos químicos (Besada *et al.*, 2015).

Por un lado, la atmósfera controlada consiste en la introducción del fruto en un recipiente que permite la modificación de las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono para retrasar la senescencia mediante la reducción de la respiración y la producción de etileno, además de reducir la aparición de alteraciones fisiológicas (Kader, 2002).

Por otra parte, los tratamientos químicos para el control de los daños por frío, destaca la aplicación tras cosecha de 1-Metilciclopropeno (1-MCP), fuerte inhibidor de la acción del etileno. Los principales beneficios de este tratamiento son la ralentización del ablandamiento del fruto y de la gelificación de la pulpa durante el almacenamiento a baja temperatura, muy comunes en el caso de “Rojo Brillante”, llegando a permitir su almacenamiento hasta cuarenta días (Salvador *et al.*, 2004; Krammes *et al.*, 2005; Besada *et al.*, 2008A; Zhang *et al.*, 2010).

En cuanto a los tratamientos de calor, aplicados con anterioridad al almacenamiento frigorífico, tienen un resultado eficaz en la reducción de los daños por frío en determinadas variedades de caqui. En el caso concreto de “Rojo Brillante”, los tratamientos de agua caliente permitieron reducir considerablemente los daños por frío (Besada *et al.*, 2008B). Con todo, la influencia sobre la calidad del producto fue irregular, dependiendo de la madurez del mismo, de la temperatura y duración del tratamiento (Besada *et al.*, 2015).

Por otro lado, el desafío actual para la industria del caqui es la búsqueda de estrategias que incrementen el valor de la fruta descartada, generando nuevas oportunidades y promoviendo un sistema más sostenible, que contribuya a la economía circular.

El uso de excedentes o subproductos de fruta ricos en compuestos bioactivos para formular alimentos es un tema emergente en la investigación en ciencia de los alimentos. El uso potencial de los excedentes y subproductos de caqui en el desarrollo de nuevos productos ha sido explorado en diversos estudios (Hosseininejad *et al.*, 2022; Osorio *et al.*; 2021; Carbonell *et al.*; 2012).

El caqui ofrece un valor agregado a los productos alimenticios porque es rico en nutrientes y compuestos bioactivos (compuestos fenólicos, carotenoides y fibra dietética) con funciones biofisiológicas, incluidas propiedades antioxidantes, hipolipidémicas y antidiabéticas (Hosseininejad *et al.*, 2022). Actualmente existen diferentes estrategias para aprovechar los desechos de caqui, como por ejemplo, su uso como ingrediente en la formulación de alimentos o el desarrollo de productos derivados.

El caqui seco es el alimento derivado del caqui más investigado. Se han utilizado diferentes formatos de caqui y técnicas de secado para obtener productos con buenos atributos sensoriales y nutricionales. Además, algunos subproductos del caqui se han empleado en el desarrollo de nuevos productos alimenticios como, por ejemplo, harina de caqui en la formulación de paté o pasta de hígado de cerdo (Lucas-González *et al.*, 2018; Lucas-González *et al.*; 2019; Lucas-González *et al.*,

2021), helados y productos lácteos formulados con caqui (Karaman *et al.*, 2014; Hernández-Carrión *et al.* 2015), así como vinagre (Moon y Cha, 2008) y vino de caqui (Liu *et al.*, 2018). Considerando los estudios realizados, el desarrollo de nuevos productos con caqui, con propiedades nutricionales mejoradas, puede aumentar la rentabilidad y disponibilidad de esta fruta de temporada, diversificando la oferta a los consumidores (Hosseinejad *et al.*, 2022).

Este trabajo se ha enfocado en el secado de caqui entero por aire caliente como una estrategia eficaz para aprovechar los destríos y minimizar las pérdidas postcosecha. Esta técnica extiende la vida útil de los frutos, permitiendo el aprovechamiento de aquellos que, debido a defectos, daños o calibre inapropiado, no son aptos para la comercialización en fresco.

#### 1.4. Secado por aire caliente

El secado es una técnica históricamente utilizada para la conservación de la fruta, ya que permite alargar su vida útil (Doymaz, 2012). Desde la antigüedad se ha reconocido que los alimentos con mayor contenido en humedad son los más perecederos, de tal manera que el control en el contenido en humedad de un producto es una herramienta clave para su conservación (Fito *et al.*, 2001). Gracias a este proceso, se consigue la eliminación de la mayor parte del agua contenida en un alimento mediante la aplicación de calor.

Además, la operación de deshidratación conlleva una apreciable reducción del peso y volumen de los alimentos, consiguiéndose así una importante disminución de los costes tanto de transporte como de almacenamiento.

Sin embargo, el secado también puede provocar cambios no deseados en los alimentos. De este modo, las altas temperaturas pueden afectar al color, a la textura (debido al encogimiento celular por la pérdida de agua) y al cambio de estado gomoso a vítreo. Además, se pueden producir cambios en el sabor y aroma de los productos deshidratados, provocados principalmente por la pérdida de componentes volátiles durante el proceso. Estas diferencias son mayores cuanto más altas sean las temperaturas utilizadas y/o cuanto mayor sea el tiempo de secado, pudiendo verse minimizados a temperaturas de moderadas a bajas. Por otro lado, destacan las pérdidas de valor nutritivo en el secado, como puede ser la pérdida de compuestos termolábiles como la vitamina C (Fito *et al.*, 2001).

El secado de la fruta de caqui entero es una técnica tradicional característica de los países asiáticos (Hur *et al.*, 2014; Jia *et al.*, 2019). Se denomina *Hoshigaki* a la técnica japonesa de secado artesanal del caqui entero, la cual es muy apreciada y utilizada a día de hoy en países asiáticos. Se trata de una tradición milenaria que consiste en deshidratar el caqui pelado al aire libre. Para ello, se utilizan caquis de variedades astringentes y en primer lugar la fruta es recolectada cuando está a punto de alcanzar su grado óptimo de maduración junto con el tallo, cortado en forma de L, que servirá posteriormente de anclaje para ser colgado. A continuación, se pela la fruta y se cuelga cada caqui por el tallo con ayuda de una cuerda a un palo y se dejan deshidratar en lugar ventilado. Tras 1 semana colgados, se masajean uno a uno los caquis cada 2 o 3 días con el objetivo de facilitar la evaporación del agua, reducir los pliegues del fruto y romper las fibras haciendo que liberen todos los azúcares que acaban cristalizándose y dándole a la superficie un aspecto de empolvado. De este

modo, se consigue un delicado y exquisito producto que permite que en 4 a 6 semanas los caquis estén listos para su consumo (JHSP, 2022).

Esta técnica de secado al aire libre está siendo experimentada actualmente en España, y se han obtenido resultados positivos en la variedad de caqui "Rojo Brillante" (González *et al.*, 2021; Vilhena *et al.*, 2020). Este método permite eliminar la astringencia de esta variedad sin la necesidad de aplicar un tratamiento previo de desastringencia, ya que el contenido de taninos solubles se reduce durante el proceso de secado, lo que permite reducir costes. No obstante, este método de secado natural al aire puede presentar ciertas dificultades en su aplicación industrial, tales como la necesidad de largos tiempos para obtener el producto final o la posibilidad de que éste sea contaminado por esporas transportadas por el aire (Cárcel *et al.*, 2007). En el estudio realizado por Vilhena *et al.* (2020) en caqui "Rojo Brillante", fueron necesarios 50 días de secado para alcanzar una humedad de 30 g de agua/ 100 g de producto.

Cabe mencionar que este proceso de secado natural al aire libre tampoco es adecuado para climas cálidos con elevadas humedades, como lo es el clima mediterráneo, por lo que, el secado por aire caliente por convección a bajas temperaturas parece ser una buena solución para reducir el tiempo de proceso sin afectar a la calidad del producto final, como se ha demostrado en diferentes cultivares de caqui producidos en Asia (Demiray y Tulek, 2017; Jia, Katsuno y Nishizu, 2020; Sugiura y Taira, 2009). A pesar de que esta técnica de secado no se ha aplicado aún en la variedad "Rojo Brillante" actualmente, podría contribuir positivamente a valorizar tanto el excedente de fruta como la fruta destinada al desecho.

## 2. Objetivo

El objetivo general de este Trabajo Fin de Máster es evaluar el efecto de diferentes temperaturas de secado (35 °C, 40 °C y 45 °C) en las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de caqui "Rojo Brillante", con el fin de obtener caqui entero seco de calidad como estrategia eficaz para valorizar los excedentes y destríos de esta fruta.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Evaluar el efecto de las diferentes temperaturas de secado (35 °C, 40 °C y 45 °C) sobre el contenido de humedad, con el objetivo de obtener un producto con una humedad final del 30%.
- Determinar los cambios en el contenido de sólidos solubles y la actividad del agua de la fruta a lo largo del proceso de secado.
- Evaluar las variaciones en las dimensiones físicas del caqui, como diámetros y espesor de la epidermis, en función de la temperatura de secado.
- Analizar el efecto de la temperatura de secado en el color y la textura del producto.
- Cuantificar el contenido en compuestos bioactivos (taninos solubles y carotenoides), así como la capacidad antioxidante mediante los métodos FRAP y DPPH.
- Analizar la composición nutricional y mineral del caqui tras el secado a diferentes temperaturas, para evaluar el impacto en sus propiedades nutricionales.

### 3. Material y Métodos

#### 3.1. Preparación de las muestras

La materia prima para llevar a cabo el proyecto fue caqui de la variedad “Rojo Brillante” en estado de madurez comercial, la cual fue obtenida de la Cooperativa Agrícola Sant Bernart Coop. V., situada en Carlet (Comunidad Valenciana, España) y transportada al Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) donde se seleccionaron según homogeneidad de calibre, color y ausencia de daños externos los frutos más aptos para los análisis efectuados en el presente trabajo.

Se seleccionaron un total de 80 frutos. De los cuales, 20 se tomaron como punto de partida para la caracterización inicial y otros 20 fueron sometidos a cada una de las tres temperaturas de secado empleadas en el presente proyecto: 35, 40 y 45°C.

Los otros 60 frutos fueron higienizados durante un tiempo de 4 minutos mediante una solución de hipoclorito sódico (1/10 v:v) y, a continuación, fueron colocados en papel absorbente para dejarlos secar al aire libre. Tras ello, cada uno de los frutos de caqui fue pelado manualmente, identificado individualmente y colgado por el pedúnculo en ganchos, los cuales fueron introducidos en una cámara de secado con convección forzada (FED 260, Binder, Tuttlingen, Alemania) (Figura 4).

El método de secado empleó una velocidad del aire de 2 m/s para las tres temperaturas y, en todas ellas, la fruta se secó hasta alcanzar un contenido de humedad de  $30 \pm 2$  g de agua/100 g de producto en base húmeda, parámetro determinante de la duración del secado.



*Figura 4. Disposición de los frutos en la cámara de secado.*

## 3.2. Evaluación del producto a lo largo del tiempo de secado.

### 3.2.1. Contenido de actividad del agua y humedad.

#### 3.2.1.1. Preparación de las muestras

Para determinar tanto la humedad como la actividad del agua se seleccionaron tres frutos de caqui a cada una de las tres temperaturas de secado y, seguidamente, éstos se trituraron individualmente mediante una máquina trituradora (Moulinex AD560120, Francia).

#### 3.2.1.2. Actividad del agua

La actividad del agua se analizó empleando un higrómetro de punto de rocío (Waterlab Steroglass) (Figura 5). Las medidas se realizaron por triplicado a una temperatura de 25°C.



*Figura 5. Medidor de la actividad de agua.*

#### 3.2.1.3. Humedad

El contenido de agua de las muestras se analizó, por triplicado, según el método estándar de la AOAC (2005). La muestra fue introducida en una estufa a vacío (Vaciotem, J.P. Selecta, España) a 60 °C y secada hasta alcanzar peso constante. Los resultados obtenidos fueron expresados como g de agua/100 g de producto.

### 3.2.2. Contenido total en sólidos y taninos solubles

#### 3.2.2.1. Preparación de la muestra

Para determinar el contenido tanto de sólidos solubles totales (SST) como de taninos solubles (TS) se seleccionaron cuatro frutos por cada tratamiento de secado y día de estudio, los cuales se cortaron en pequeños trozos y, una vez pelados, se mezclaron mediante un homogeneizador de alimentos (IKA T50 Digital Ultra Turrax). En último lugar, se tomaron tres muestras de 5 g de material para determinar ambos parámetros ST y TSS, a las tres temperaturas estudiadas.

### 3.2.2.1. Contenido de sólidos solubles totales

En primer lugar, se llevó a cabo la medición del contenido de SST. Con el objetivo de evitar que los taninos de la fruta previamente triturada interfirieran en las mediciones, éstos se insolubilizaron (Sugiura *et al.*, 1983).

Para determinar los SST, las muestras de fruta se homogeneizaron con agua destilada en una proporción de 1/3 (p/p) en un homogeneizador Polytron (modelo PT 3100D, Kinematica, Suiza).

Dichas mediciones se realizaron por triplicado para cada uno de los secados con un refractómetro (Atagomod. PR1, Fisher Scientific, EE.UU.). Los resultados se expresaron como °Brix.

### 3.2.2.2. Contenido de taninos solubles

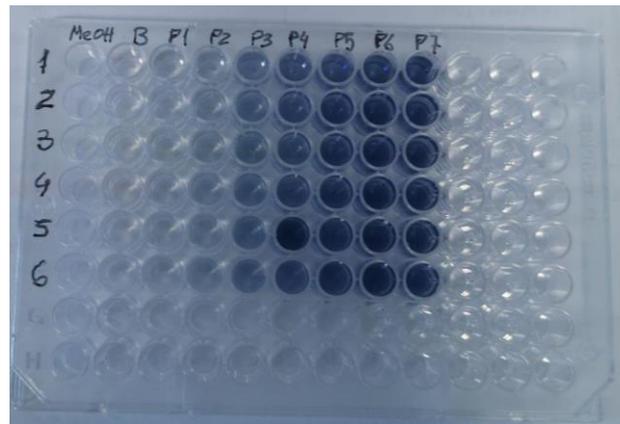
Para determinar el contenido de TS se empleó el método de Folin-Denis (Singleton *et al.*, 1999).

En primer lugar, se sacó la muestra del congelador (5g de pulpa perteneciente a 4 frutos distintos). A continuación, se colocó en un tubo de centrifuga, situado sobre un recipiente con hielo, al que se le añadieron 25 mL de Metanol 80% y se homogenizó la mezcla con el Polytron (modelo PT 3100D, Kinematica, Suiza) durante 30 segundos, proceso que se repitió hasta completar el minuto. Seguidamente, se dispusieron los tubos en la centrifuga (modelo 2771R, Francia) y se centrifugó a 14000 rpm, con una temperatura de 4°C durante 20 minutos. Posteriormente se dejó pasar el sobrenadante de cada tubo de centrifuga por un embudo de vidrio con papel de filtro, de manera que cada muestra filtrada quedó dentro de un matraz aforado de 100 mL. En una bandeja con hielo se guardaron los matraces con extracto en la nevera, mientras se realizaba una segunda extracción. En esta extracción, se utilizó el pellet acumulado en el tubo de centrifuga de cada muestra, se añadieron de nuevo 25mL de metanol 80%, se homogenizó con el Polytron y, se centrifugó, siguiendo el procedimiento descrito anteriormente. Tras el proceso de filtrado, el sobrenadante obtenido se pasó al mismo matraz reservado en la nevera, para luego enrasar el matraz aforado a 100mL con H<sub>2</sub>O destilada. A continuación, se agitaron los matraces y se vertió el sobrenadante en tubos de ensayo.

En el análisis de los taninos se distinguió entre muestras astringentes, como es el caso de la fruta fresca (donde la cantidad de taninos solubles es muy elevada) y no astringentes, como son la fruta sometida al proceso de secado (que produce una reducción en el contenido de los mismos). En las primeras fue necesario diluir la muestra para evitar que ésta se saliera de la recta patrón. En el caso de las muestras no astringentes, no fue necesario realizar diluciones, por lo que se trabajó directamente con el extracto contenido en el matraz de 100mL.

A continuación, se añadió 1ml de cada extracto a un tubo de ensayo junto con 6 ml de agua destilada y se agitó la mezcla en vortex (Speed Vortex Mixer). En total, se realizaron dos blancos directamente con 7 ml de agua destilada. Seguidamente, en condiciones de oscuridad se añadieron 0,5 ml de reactivo Folin (el cual se degrada con la luz) en cada tubo, se agitó y se esperó 3 minutos para añadir 1 ml de la disolución de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (60,50 g de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> en 200 mL de agua). Se volvió a agitar y, posteriormente, se añadieron 1,5 ml de H<sub>2</sub>O destilada, se agitó de nuevo y se dejó reposar la mezcla durante 1 hora a temperatura ambiente en oscuridad. Tras este tiempo, los tubos fueron agitados nuevamente con el vórtex y se tomó una alícuota de 300 µL de cada tubo de ensayo que se colocó en los pocillos de la placa 96-well NUNC F-bottom Microwell plate (Figura 6), todo ello en

ausencia de luz. La lectura se realizó en el MultiSkan a 725 nm. Los resultados se expresaron como g de taninos solubles/100 g de peso seco.



*Figura 6. Placa 96-well NUNC F-bottom Microwell plate con muestras a las que se les ha aplicado el protocolo de Folin-Denis.*

### 3.2.3. Espesor de la epidermis

Se empleó un pie de rey (Mitutoyo 500-267V-CDL20CP, Japón) (Figura 7), para una vez pelados los frutos, obtener el espesor de la epidermis secundaria que se formó durante el proceso de secado a las tres temperaturas empleadas.

## 3.3. Caracterización del producto final

### 3.3.1. Diámetros de la fruta

Se utilizó el mismo pie de rey (Mitutoyo 500-267V-CDL20CP, Japón) (Figura 7), para medir los diámetros, tanto longitudinal como ecuatorial, de los 80 frutos de caqui fresco y su evolución durante el proceso de secado a las tres temperaturas empleadas.



*Figura 7. Pie de rey para medición de diámetro longitudinal.*

### 3.3.2. Color

La medición del color se realizó en tres frutos de caqui “Rojo Brillante”, utilizando un espectrocolorímetro Minolta (CR-400, Ramsey, NY, EE. UU) (Figura 8). Se empleó el sistema de referencia CIE L\*a\*b\* con el iluminante D65 y un observador estándar de 10°. En estas condiciones, se obtuvo el color externo de las zonas ecuatoriales opuestas de cada uno de los frutos una vez pelada la cáscara, tanto en la fruta fresca como tras los secados de 35, 40 y 45°C.

Se determinaron los parámetros Luminosidad (L\*), las coordenadas a\* (con rojo en positivo y verde en negativo) y b\* (con amarillo en positivo y azul en negativo), tono (h\*) y croma o pureza de color (C\*), que indica la saturación de color. Estos dos últimos valores se obtuvieron mediante las Ecuaciones (1 y 2).

$$h^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (1)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

Por último, se calcularon las diferencias de color ( $\Delta E^*$ ) para cada uno de los secados cuando la fruta alcanzaba 30 g de agua/100 g respecto a la fruta de temperatura ambiente inicial. La diferencia de color se calculó según la Ecuación (3):

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3)$$

Siendo,  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$  la diferencia de cada parámetro antes y después de cada tratamiento de secado.

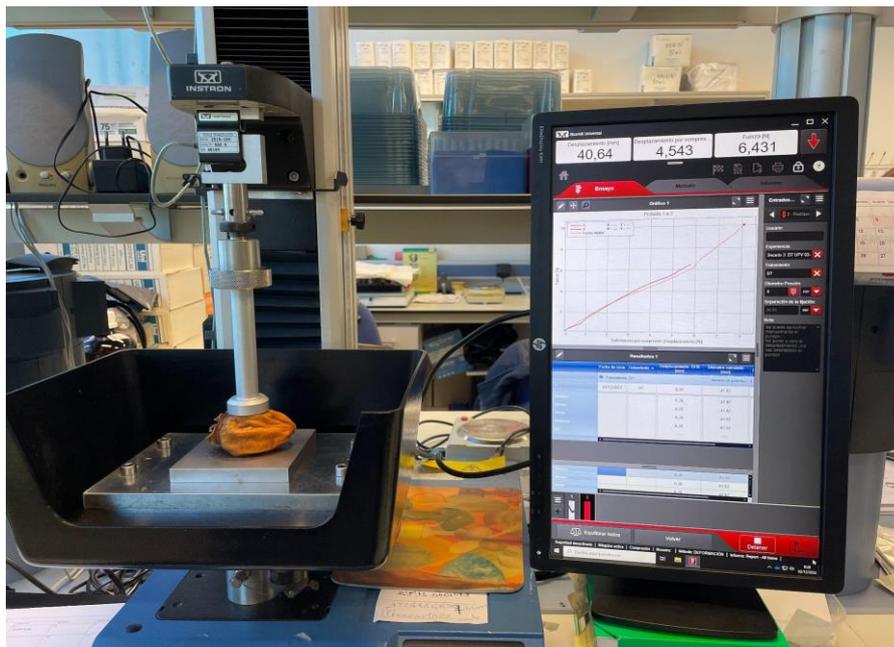


*Figura 8. Medición del color mediante un espectrocolorímetro Minolta.*

### 3.3.3. Textura

La textura fue analizada mediante un texturómetro Instron Universal (4301, Instron Corp., Canton, MA, EE. UU) (Figura 9), el cual presenta un émbolo plano de 35 mm con el que se le aplicó al fruto

una fuerza de compresión de 10 N a lo largo de su eje ecuatorial. Los resultados obtenidos fueron expresados en milímetros de deformación.



*Figura 9. Determinación de la textura de la fruta mediante texturómetro Instron Universal.*

### 3.4. Compuestos bioactivos

#### 3.4.1. Capacidad Antioxidante: DPPH y FRAP

Se determinó la capacidad antioxidante de la fruta fresca y la fruta deshidratada a las tres temperaturas de estudio por los métodos de DPPH y FRAP.

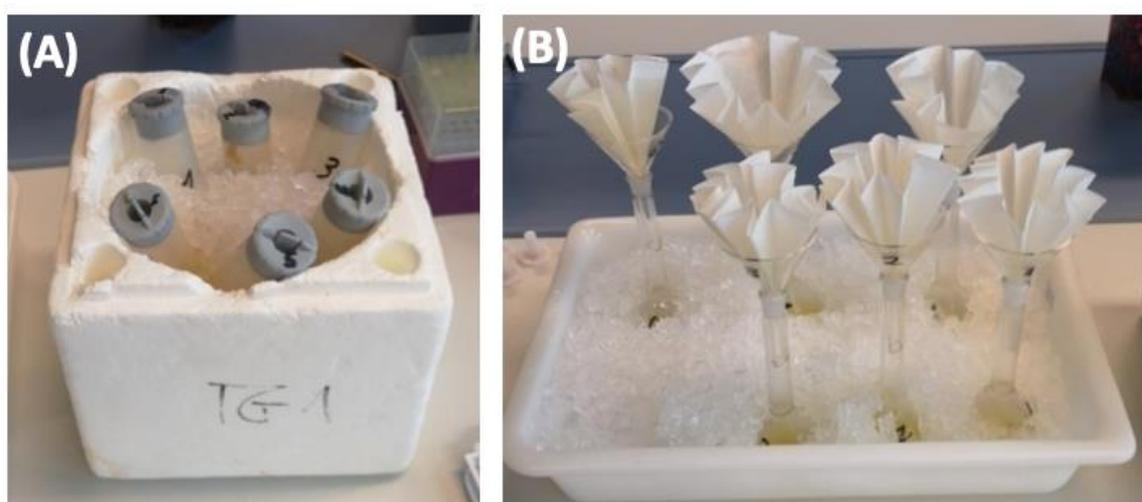
##### 3.4.1.1. Preparación del extracto

Para la preparación del extracto empleado tanto para DPPH como FRAP (Figura 10) se siguió el método descrito por Novillo *et. al.* (2017).

En primer lugar, se tomaron 2 g de muestra pertenecientes a 3 frutos en cada día de secado, conservados en un congelador a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se diluyeron en 20 ml de metanol. A continuación, se homogeneizaron con un homogeneizador de alimentos (IKA T50 Digital Ultra Turrax) y, posteriormente, se centrifugó a 12.000 rpm durante 20 minutos a  $4^{\circ}\text{C}$  (Figura 11A) para proseguir con la filtración del sobrenadante con papel de filtro (Figura 11B). El proceso se repitió añadiendo otros 20 ml de metanol al precipitado. Nuevamente, se centrifugó, se recogió el sobrenadante y se filtró con papel de filtro. Por último, se enrasó con metanol hasta 50 ml con la ayuda de un matraz aforado.



**Figura 10.** Extractos de las muestras.



**Figura 11.** Preparación de los extractos. A) Tubos de centrifuga. B) Filtración del extracto con matraces aforados y papel de filtro.

#### 3.4.1.2. DPPH

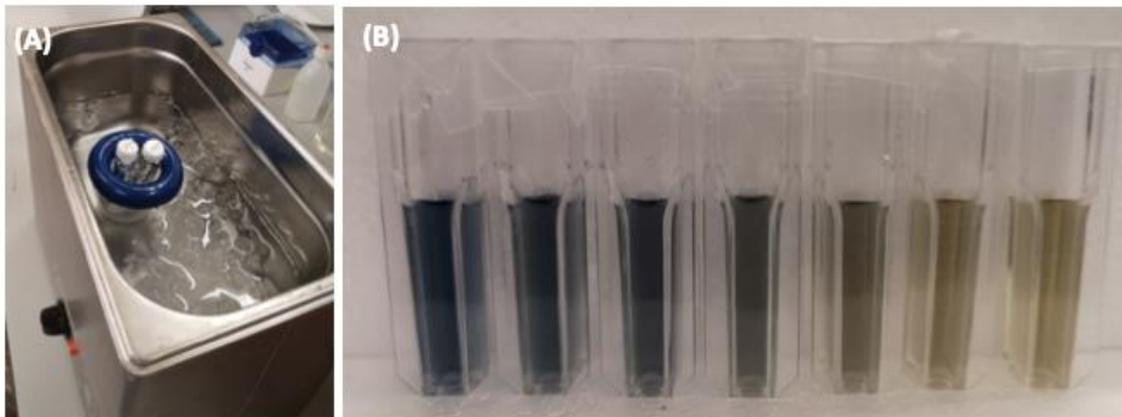
El método DPPH es utilizado para evaluar antioxidantes en muestras de extractos vegetales, alimentos y bebidas, especialmente en aquellos con compuestos fenólicos. Ello implica una reacción de transferencia de electrones o átomos de hidrógeno en la cual, el antioxidante neutraliza el radical libre DPPH.

Para la obtención de la capacidad antioxidante por el método DPPH se colocaron 30  $\mu$ L del extracto de cada muestra y posteriormente se añadieron 270  $\mu$ L de disolución de DPPH a 25 ppm en una placa multipocillo (96- well NUNC F-bottom LumiNunc). A continuación, la placa multipocillo se dejó incubar en oscuridad durante 30 minutos a una temperatura de 25  $^{\circ}$ C. Por último, se leyó la placa a 515 nm en el espectrofotómetro para microplacas Multiskan (Thermo, EE.UU.).

### 3.4.1.3. FRAP

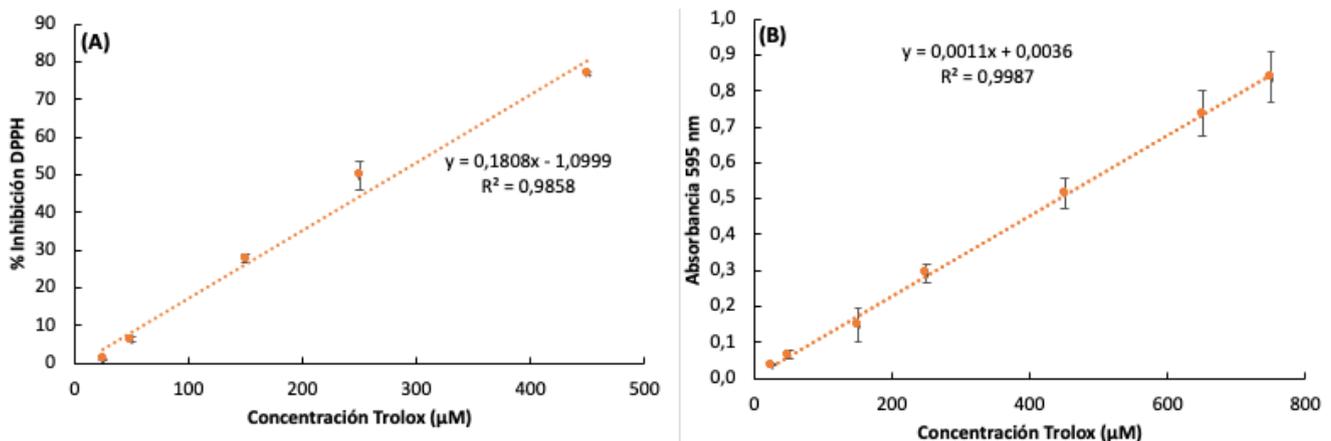
El método FRAP se emplea para evaluar la capacidad antioxidante de muestras hidrosolubles y liposolubles, basándose en una reacción redox donde el antioxidante reduce el ion férrico a ferroso.

Para la obtención de la capacidad antioxidante por el método FRAP se colocaron 900  $\mu\text{L}$  del reactivo FRAP, el cual contiene TPTZ,  $\text{FeCl}_3$  y tampón acetato, junto con 30  $\mu\text{L}$  de agua destilada y 30  $\mu\text{L}$  de la muestra o el blanco (los disolventes usados para la extracción). A continuación, se dejó incubar la mezcla durante 30 minutos a una temperatura de 37°C (Figura 12A), tiempo tras el cual se tomaron los valores de absorbancia a 595 nm (Figura 12B), empleando un espectrofotómetro (CECIL 102, Reino Unido) (Pulido *et al.*, 2000).



**Figura 12.** Protocolo para la determinación de la capacidad antioxidante por el método FRAP. A) Baño a 37 °C. B) Cubetas de espectrofotómetro con extractos de la curva patrón.

Para la cuantificación de la capacidad antioxidante se realizó una recta patrón por cada método (Figura 13) con concentraciones comprendidas entre 25 y 450  $\mu\text{M}$  de Trolox (Figura 13<sup>a</sup>) para el método de DPPH ( $R^2 = 0,9858$ ) y concentraciones de 25 y 750  $\mu\text{M}$  de Trolox para el método FRAP ( $R^2 = 0,9987$ ) (Figura 13B). Los resultados se expresaron como  $\mu\text{M}$  de Trolox equivalente /g de materia seca.

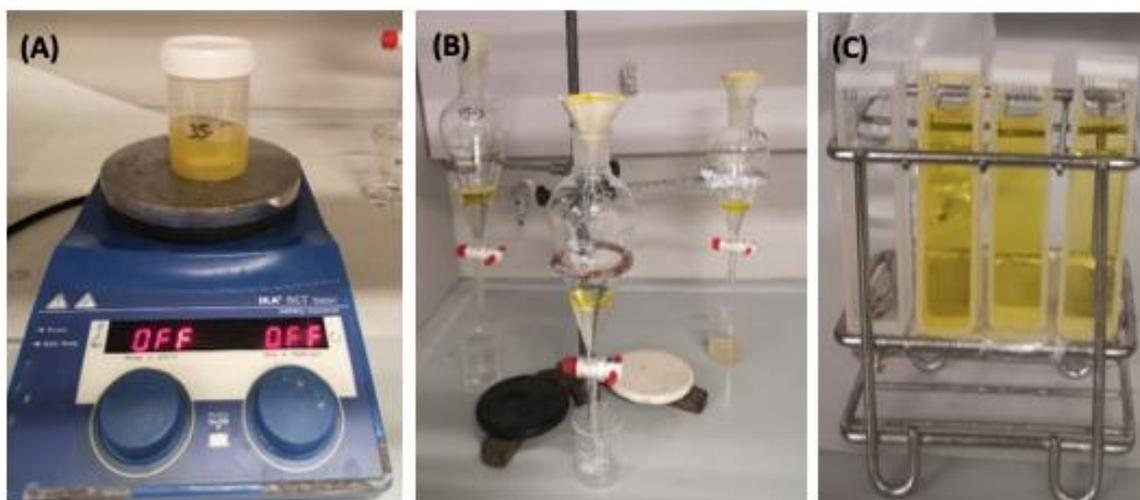


**Figura 13.** Rectas patrón de Trolox para el método DPPH (A) y FRAP (B).

### 3.4.2. Contenido de carotenoides totales

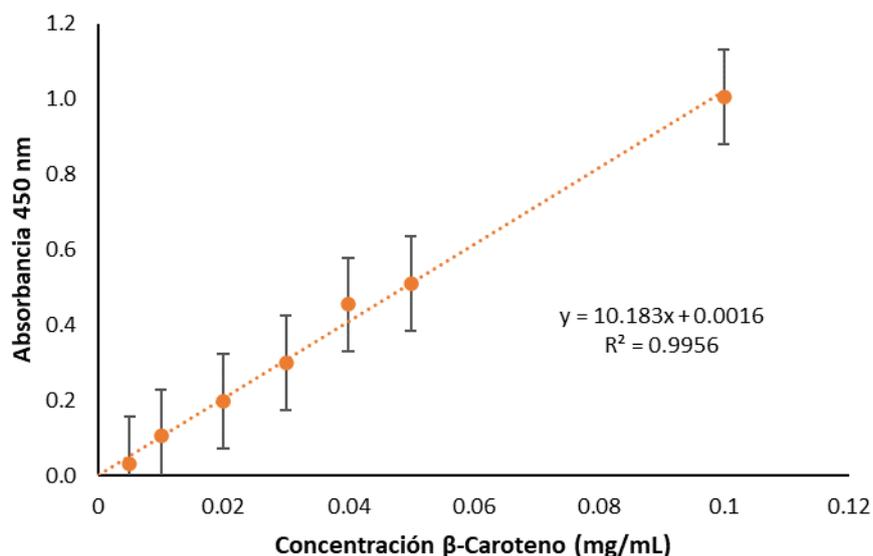
Para determinar el contenido de carotenoides totales se pesó 1 g de muestra pulverizada y congelada a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  procedente de tres frutos distintos para cada uno de los secados analizados y se añadieron 50 mL de solución de hexano. Todo ello se agitó en el ultraturrax a 3000 rpm durante 30 segundos. A continuación, se dejó la mezcla sobre el agitador magnético cubierto con papel de aluminio durante 20 minutos (Figura 14A). Tras ese tiempo, se añadieron 15 mL de NaCl 10% y se llevó de nuevo el contenido al ultraturrax de la misma forma que antes, para luego pasar al agitador magnético durante 10 minutos más. Seguidamente, la muestra fue filtrada con un embudo de decantación al que además se le colocó en la parte superior un embudo con papel de filtro (Figura 14B). Se utilizó papel de aluminio para impedir que la muestra estuviese en contacto con la luz. Una vez filtrada completamente la muestra, se distinguieron dos fases (en la parte superior la fase orgánica amarilla y, en la inferior, la fase acuosa de color blanco), se descartó la fase inferior. A continuación, a la fase orgánica que quedó en el embudo se le añadieron 10 mL de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  2% y se dejó filtrar completamente, para luego colocarla en un matraz aforado de 50 mL y aforar hasta 50 mL con hexano.

El contenido del matraz se dejó reposar durante un tiempo de tres minutos antes de realizar la lectura con el espectrofotómetro (CE 1021 1000 series, CECIL INSTRUMENTS, Cambridge, UK). Para la lectura se colocaron 3,5 mL del extracto en la cubeta de vidrio (Figura 14 C) y se utilizó hexano como blanco. La absorbancia se midió a 450 nm. Las extracciones se realizaron por triplicado y se tomaron un total de tres medidas para cada uno de los secados analizados.



**Figura 14.** Protocolo para la determinación del contenido de carotenoides totales. A) Placa agitadora, B) Embudos de decantación. C) Cubetas de vidrio con los extractos.

Por último, se realizó una recta patrón (Figura 15) con concentraciones comprendidas entre 0,0001 y 0,2 mg/mL de  $\beta$ -caroteno en acetona ( $R^2 = 0,9981$ ). Los resultados se expresaron como mg de  $\beta$ -caroteno/100 g de materia seca.



*Figura 15. Recta patrón de β-caroteno.*

### 3.5. Composición nutricional y mineral

Se determinó el contenido en proteínas, fibra, grasa y cenizas siguiendo los protocolos oficiales de la AOAC.

Para la determinación del contenido en proteína se siguió el método Kjeldahl que permite cuantificar el contenido en proteína a partir del nitrógeno de la muestra. Se basa en que la totalidad del nitrógeno de la muestra está en forma proteica, sin tener en cuenta la naturaleza del producto analizado, ya que una fracción considerable del nitrógeno procede de otros compuestos nitrogenados como bases púricas, creatina o urea. Por ello se denomina “proteína bruta” o “proteína total” a la obtenida por este método.

Para la determinación de fibra alimentaria dietética total, soluble e insoluble se utilizó el protocolo AOAC 991-43, en el que se emplea un tampón MES-Tris con el estándar AOAC 991.43. La muestra se desengrasa y dispersa en el tampón, el almidón es gelatinizado y parcialmente digerido por la alfa-amilasa, luego se digiere nuevamente con las enzimas proteasa

Por otro lado, se determinaron las concentraciones de los minerales: fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), S (azufre), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo) y boro (B).

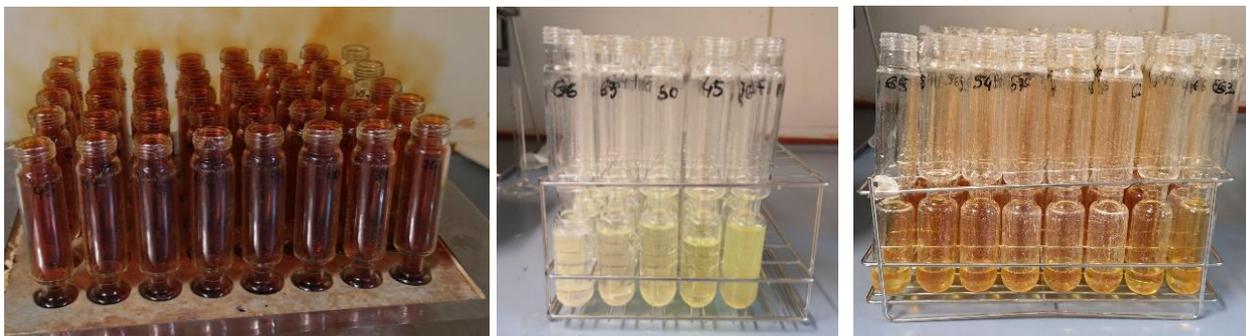
Para ello, se seleccionaron tres frutos por repetición y tipo de secado y se cortaron longitudinalmente en cuatro partes. A continuación, las muestras se secaron en un horno de aire forzado a una temperatura de 65 °C durante un período mínimo de 72 horas y se molieron en un molino (IKA M20, IKA-Werke GmbH & Co. KG, IKA Labortechnik, Staufen, Alemania).

La extracción de nutrientes se llevó a cabo mediante digestión húmeda en un digestor FOSS Tecator (Foss Analytics, Hilleroed, Dinamarca). Para ello, se pesaron 0,2 g de las muestras pulverizadas a las tres temperaturas y se añadieron 4 mL de Milli-Q, 4 mL de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y 2 mL de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a cada muestra (Figura 16). Los tubos se mantuvieron a una temperatura de 200 °C durante 20 minutos Para analizar las concentraciones de macronutrientes

los extractos se diluyeron con ácido nítrico al 2% en una proporción 1/20. En cambio, para determinar los micronutrientes se tomó una alícuota de 0,5 mL de la solución de extracción y se completó hasta 10 mL con agua Milli-Q. Ambos tubos fueron almacenados en nevera hasta su posterior análisis.

Las concentraciones de los minerales se determinaron mediante espectrometría de emisión óptica por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES iCAP 7000, Thermo Scientific, Waltham, MA, EE.UU.).

Los resultados de la concentración tanto de macronutrientes como de micronutrientes se expresaron como porcentaje del peso seco (mg de elemento/100 g de sólido seco).



**Figura 16.** Protocolo para determinación de minerales.

### 3.6. Análisis estadístico

Se empleó el programa Statgraphics Centurion, en concreto, la versión 19.1.2 (2019), para llevar a cabo el análisis de la varianza (ANOVA) de los resultados obtenidos de los distintos parámetros tomados para las temperaturas de 35, 40 y 45 °C, teniendo un nivel de confianza del 95%.

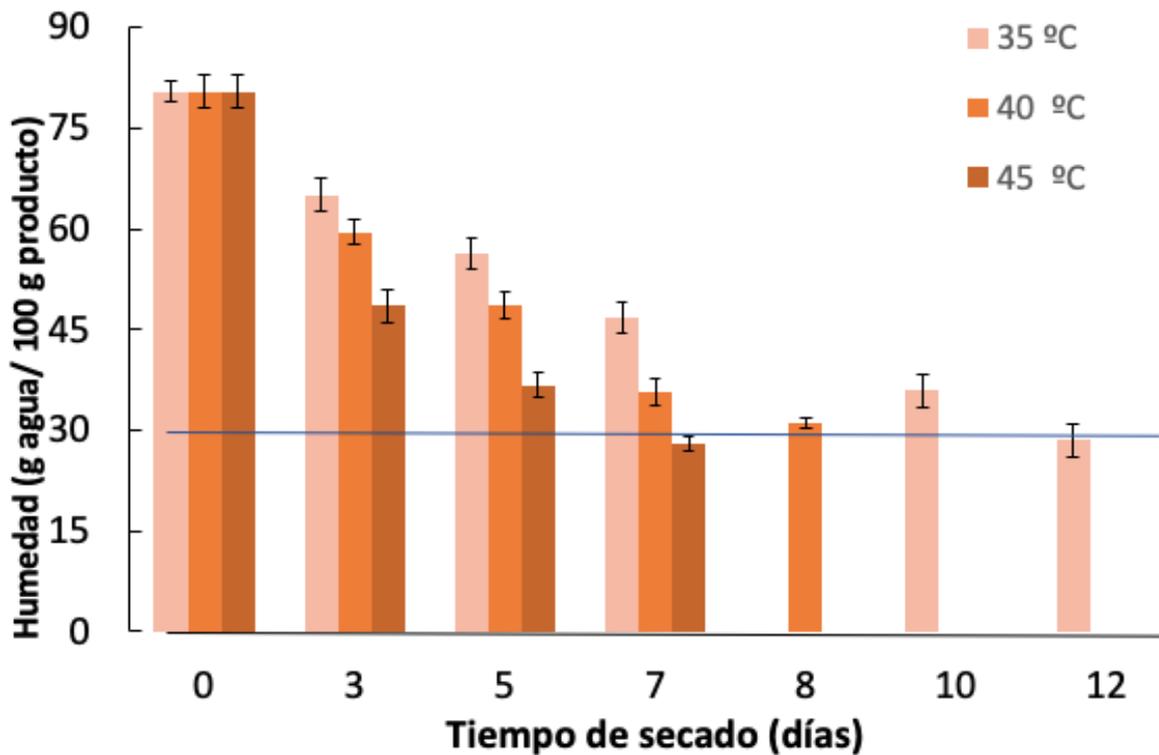
## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Evaluación del producto a lo largo del tiempo de secado

#### 4.1.1. Humedad, sólidos solubles y actividad del agua

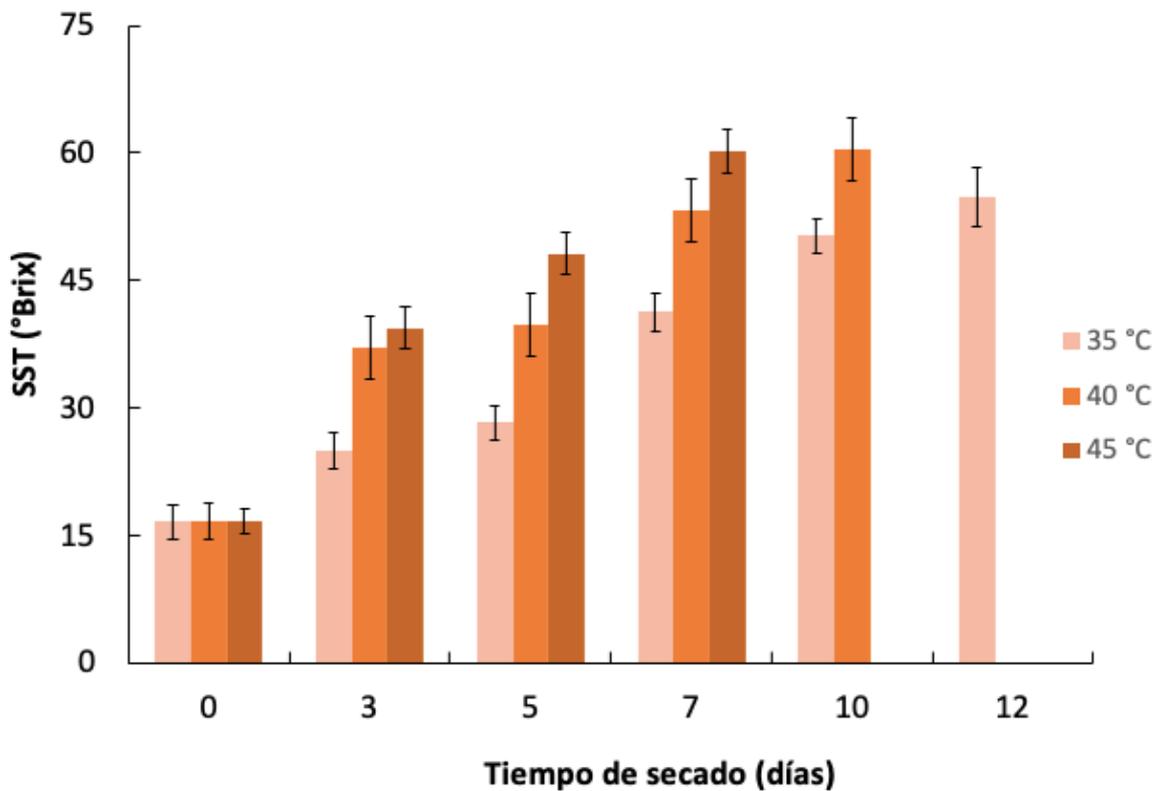
La humedad inicial de la fruta fresca al comienzo del estudio fue de  $80,5 \pm 0,67$  g de agua/100 g de producto, resultado similar al obtenido en caqui “Rojo Brillante” (Vilhena *et al.*, 2022). En la Figura 17 se muestra que durante el proceso de secado, la humedad fue disminuyendo, lógicamente, siendo más acusado al aumentar la temperatura empleada en el secado, tal y como ha sido observado por otros autores (González *et al.*, 2021).

Para alcanzar el valor objetivo de 30 g de agua/100 g de producto fueron necesarios 12, 8 y 7 días en los tratamientos de secado a temperaturas de 35 °C, 40 °C y 45 °C, respectivamente. En estas condiciones, el aspecto del producto seco final para los distintos tratamientos de secado se muestra en la Figura 22.



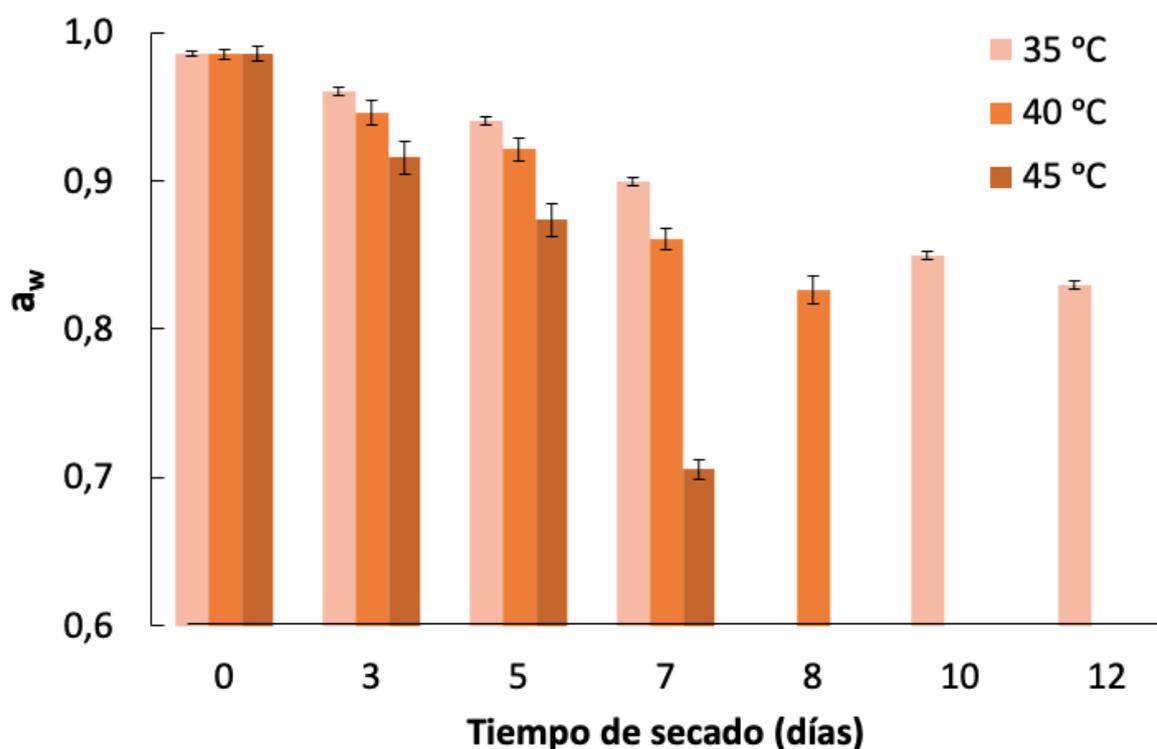
*Figura 17. Humedad del caqui "Rojo Brillante" durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD  $p < 0,05$ .*

En la figura 18 aparecen representados los sólidos solubles totales (SST), los cuales aumentan los grados Brix en función de los días de secado en las tres temperaturas estudiadas. Esto es debido a que los sólidos solubles totales se mantienen constantes a lo largo de todo el proceso de secado, concentrándose en un volumen menor por la pérdida de humedad (Figura 17) por evaporación al aumentar la temperatura. Todo ello explica que la concentración de grados Brix para fruta fresca fuese de 16,6 °Brix y aumentase a 55 °Brix en el secado de 35 °C y a 60 °Brix en los secados de 40 °C y 45 °C cuando la fruta alcanzó un contenido de humedad de 30 g de agua/100 g de producto. Dichos resultados presentan valores semejantes a los obtenidos en el secado natural de 'Rojo Brillante' (Vilhena *et al.*, 2020).



**Figura 18.** Sólidos solubles totales (SST) del caqui "Rojo Brillante" durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD  $p < 0,05$ .

En la figura 19 se muestra la evolución de la actividad del agua del caqui "Rojo Brillante" durante el proceso de secado a las tres temperaturas estudiadas. Inicialmente, la fruta fresca presentó un valor de  $a_w$  de 0,98, el cual fue disminuyendo progresivamente a lo largo del secado. Como era de esperar, este descenso fue más rápido al aumentar la temperatura de secado. Así, la fruta secada a 35 °C presentó, tras 12 días, una actividad del agua de 0,83, mientras que la fruta secada a 40 °C necesitó 8 días para alcanzar un valor similar. Por último, en el secado a 45 °C la actividad del agua disminuyó más drásticamente hasta alcanzar el valor 0,70 en el séptimo día de secado.

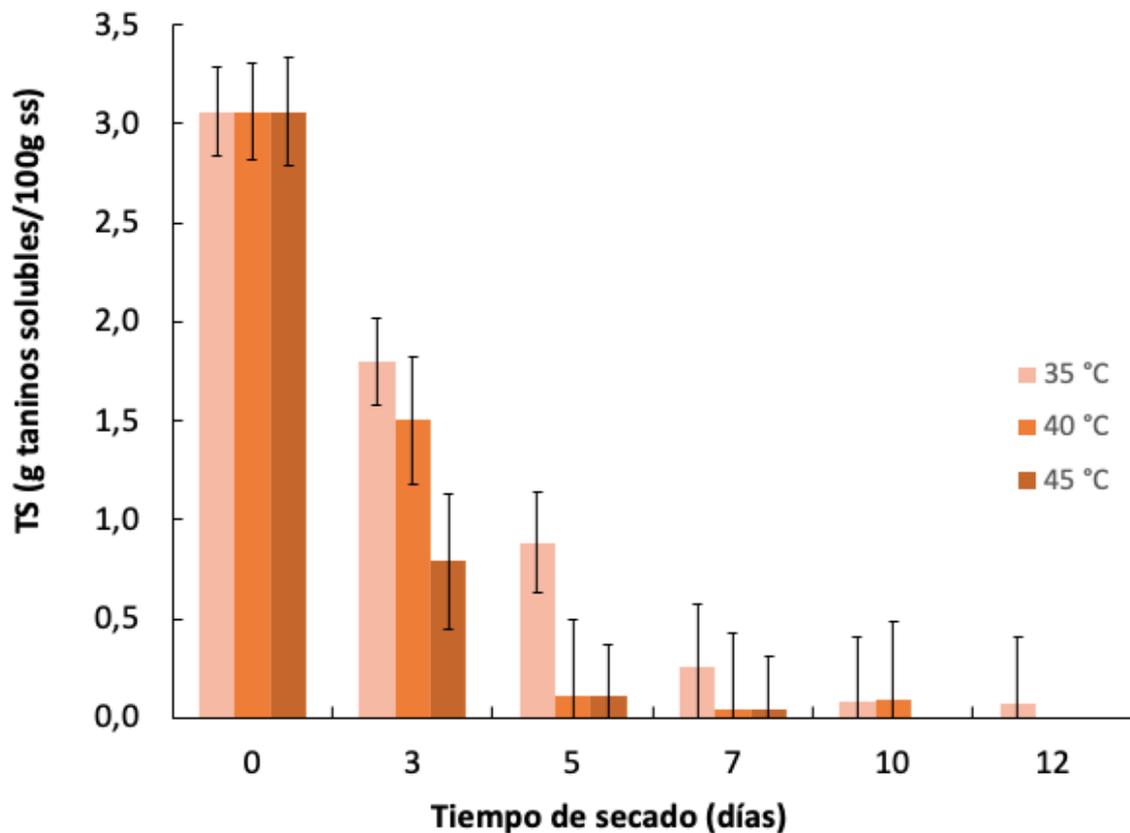


**Figura 19.** Actividad del agua ( $a_w$ ) del caqui "Rojo Brillante" durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD  $p < 0,05$ .

#### 4.1.2. Contenido de taninos solubles

Como ya se ha mencionado, el caqui 'Rojo Brillante' es un cultivar astringente con un alto contenido de taninos solubles en la cosecha (Tessmer *et al.*, 2016), responsables de su astringencia. Para ser comercializado en fresco, y con textura firme, tiene que ser sometido a un proceso de desastringencia, el cual provoca su insolubilización y, por lo tanto, la eliminación de la astringencia del fruto.

En la Figura 20 se observa la evolución del contenido en taninos solubles durante el proceso de secado a las tres temperaturas estudiadas. Inicialmente, la fruta fresca, astringente, presentó un contenido de TS de aproximadamente 3 g de taninos solubles/100 g de peso seco. A lo largo del proceso de secado se observó un descenso en el contenido en taninos solubles, en consonancia con los resultados obtenidos por otros autores (Vilhena *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2002). Este descenso fue mayor al aumentar la temperatura de secado. Así, los frutos secados a 40 °C y 45 °C alcanzaron valores de TS por debajo de 0.3 g de taninos solubles/ 100 g de peso seco después de 5 días de secado, lo que corresponde a valores de astringencia indetectables para 'Rojo Brillante'. Sin embargo, para los frutos secados a 35 °C, estos valores se alcanzaron después de 10 días. Estos resultados coinciden con los de otros autores, quienes observaron un aumento en la velocidad de eliminación de la astringencia durante el secado al aumentar la temperatura (Manabe, Kamikawa & Tarutani, 1980).

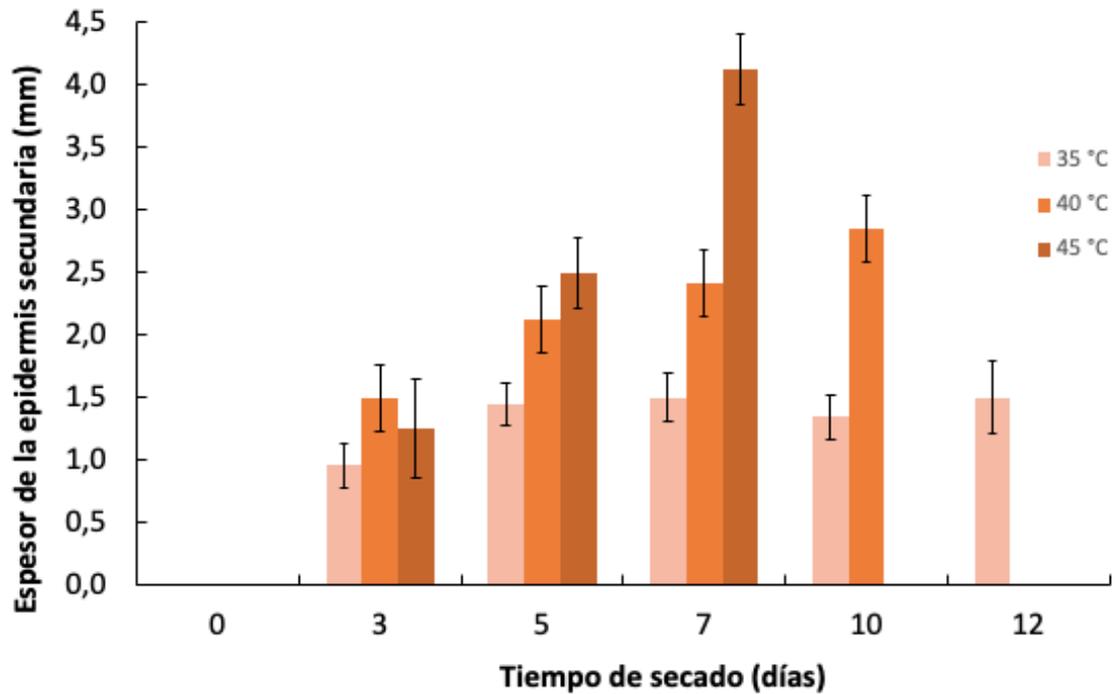


**Figura 20.** Taninos solubles (TS) del caqui “Rojo Brillante” durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD  $p < 0,05$ .

#### 4.1.1. Espesor de la epidermis

En el caqui se denomina epidermis o superficie secundaria a la capa externa rígida formada por la pérdida de agua durante el proceso de secado, la cual presenta mayor velocidad en la superficie externa del fruto que en la zona interna (Vilhena *et al.*, 2020; Jia *et al.*, 2020).

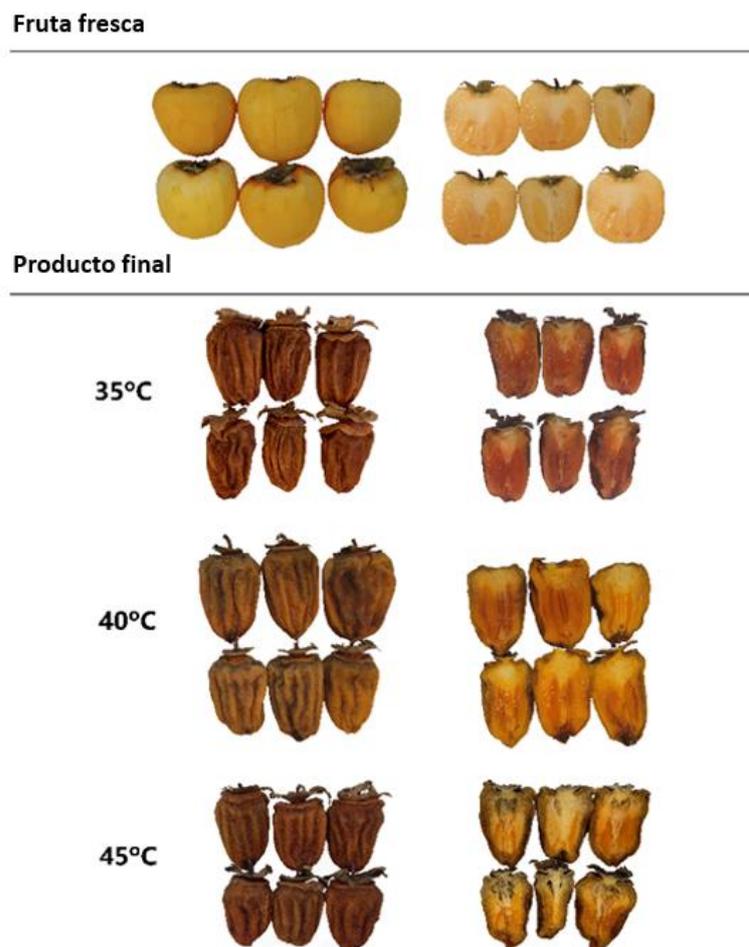
En la Figura 21 aparecen representados los valores de espesor de la epidermis secundaria para los tres secados analizados, en los cuales se aprecia que el espesor aumenta conforme se incrementa la temperatura. Este incremento es constante en el secado a 45 °C, donde llega a alcanzar 4,12 mm a los 7 días de secado. En cambio, a las temperaturas inferiores, 40 °C y 35 °C el espesor de la epidermis secundaria se ve reducido, obteniéndose los valores de 3,22 mm y 1,5 mm, respectivamente en los días 7 y 12 de secado, en los que el contenido de humedad del caqui seco era de 30 g de agua/100 g de producto. Destaca la estabilización del espesor en el secado de 35°C a partir del quinto día de secado.



*Figura 21. Espesor de la epidermis secundaria del caqui “Rojo Brillante” durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD  $p < 0,05$ .*

#### **4.2. Caracterización del producto final.**

En la figura 22 se observa el aspecto del producto seco final para los distintos tratamientos de secado.



**Figura 22.** Aspecto del caqui ‘Rojo Brillante’ en la etapa inicial y al final de cada proceso de secado a 35 °C (12 d), 40 °C (8 d) y 45 °C (7 d).

#### 4.2.1. Diámetros de la fruta

Durante el proceso de secado se produjo una reducción de los diámetros, tanto ecuatorial como longitudinal, debido a la pérdida de agua y la consiguiente reducción del volumen interno, lo que dio lugar a un arrugamiento visible de la fruta (Figura 4).

El diámetro longitudinal presentó una menor reducción que el ecuatorial (Tabla 1), puesto que cuando los frutos alcanzaron un contenido de humedad de 30 g de agua/100 g de producto, el diámetro ecuatorial había disminuido en un 45 % en todos los tratamientos de secado, no presentando diferencias significativas entre ellos, mientras que el diámetro longitudinal tan solo se vio reducido en un 19 %.

**Tabla 1.** Diámetros longitudinal y ecuatorial del caqui entero “Rojo Brillante” fresco y tras los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C. Letras iguales en cada serie indican grupos homogéneos en el ANOVA simple realizado considerando un nivel de significancia del 95%.

		Diámetro longitudinal (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)
Fruta fresca	Tª	77.76 ± 0.87 <sup>a</sup>	76.93 ± 0.97 <sup>a</sup>
Fruta seca	35°C	62.64 ± 1.5 <sup>b</sup>	38.80 ± 0.97 <sup>b</sup>
	40°C	63.22 ± 1.25 <sup>b</sup>	42.81 ± 1.64 <sup>b</sup>
	45°C	62.25 ± 1.30 <sup>b</sup>	41.47 ± 1.57 <sup>b</sup>

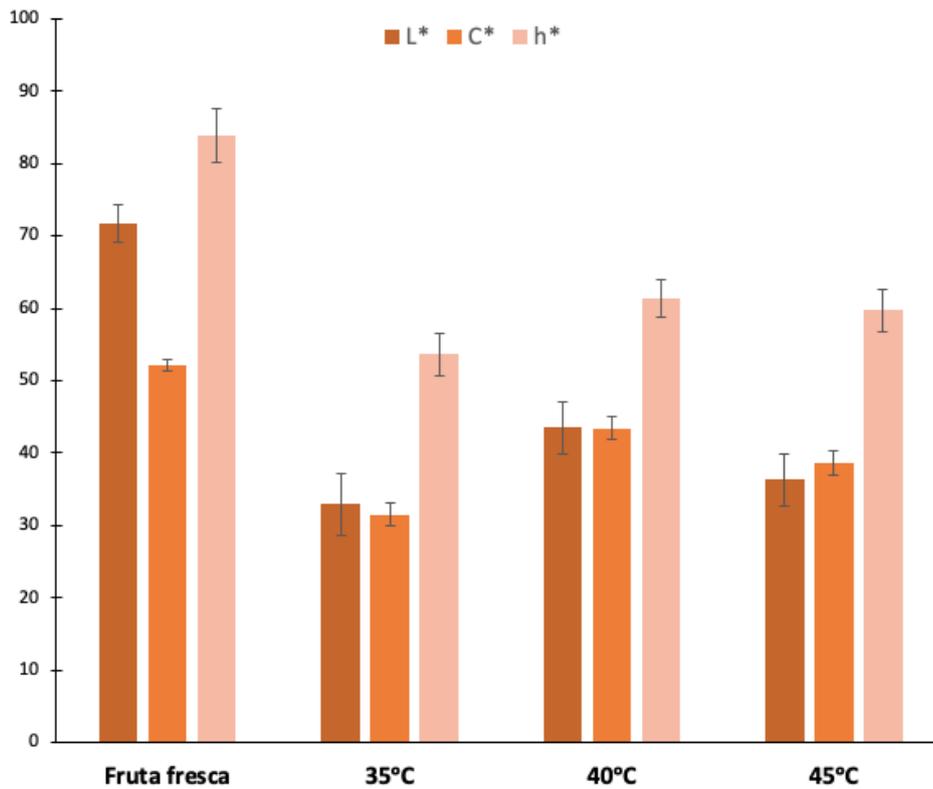
La gran reducción del diámetro ecuatorial puede deberse a la manera en la que se colgaron los frutos durante el secado (Figura 4) ya que, al estar suspendidos por el pedúnculo, la gravedad fomentaba el estiramiento de los mismos hacia abajo, permitiendo mantener en mayor proporción su tamaño longitudinal (González *et al.*, 2021; Vilhena *et al.*, 2020).

#### 4.2.2. Color

El color de los productos secos es un índice de calidad importante que refleja el atractivo sensorial, así como la calidad del producto alimenticio (Anjum *et al.*, 2021). El proceso de secado en el caqui causa un pardeamiento en el fruto resultado de varias reacciones bioquímicas como son la degradación de carotenoides y otros pigmentos, reacciones tanto enzimáticas como no enzimáticas o la degradación oxidativa y no oxidativa del ácido ascórbico (Yamada *et al.*, 2009).

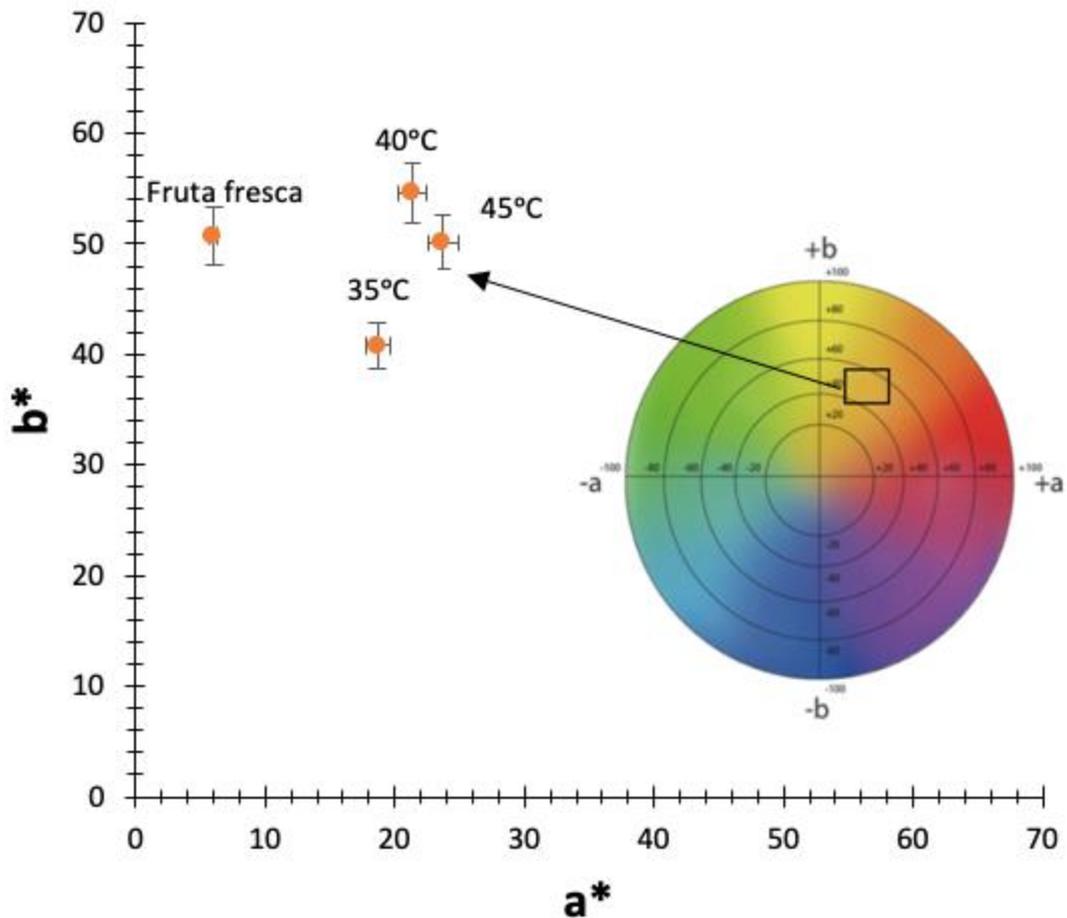
En la Figura 23 se puede observar que la temperatura de secado influyó en el color del caqui. De manera que los valores de luminosidad (L\*), croma (C\*), que en el diagrama cromático (Figura 23) es la distancia respecto al centro (0,0) y tono (h\*), representa el ángulo respecto a a\*(+) y b=0, presentaron diferencias significativas entre la fruta fresca y los secados analizados.

Con todo ello, se observa por un lado que la fruta fresca presenta valores más elevados de L\*, C\* y h\* que los distintos secados analizados y, además, que de entre los secados, el de 35 °C es el que tiene los valores inferiores, lo que indica un oscurecimiento del fruto más pronunciado, menor pureza de color y un tono más rojizo asociado. Por otro lado, es el secado de 40 °C el que presenta los valores más similares con la fruta fresca cuando se alcanzó el contenido de humedad de 30 g de agua/100 g de producto (Vilhena *et al.*, 2020).



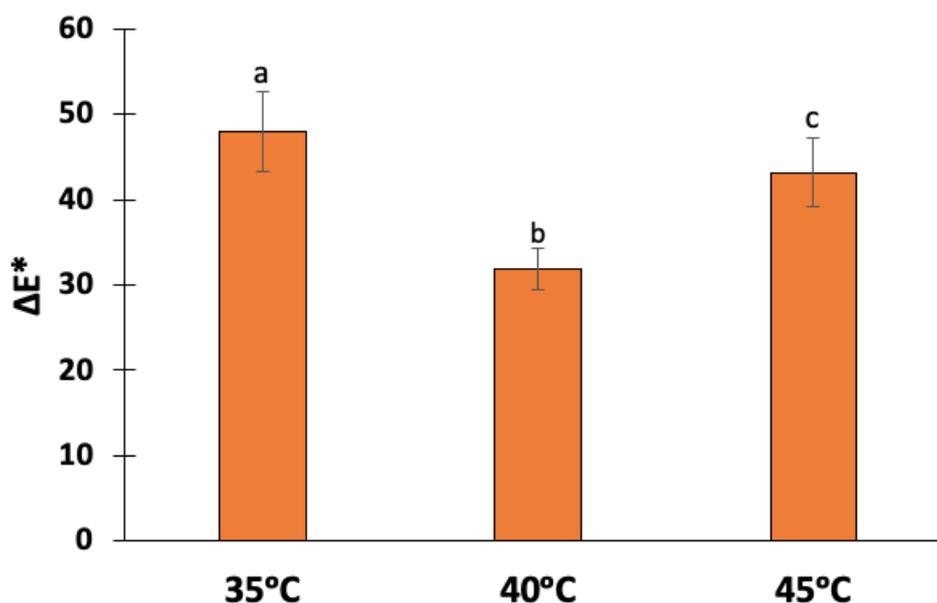
**Figura 23.** Luminosidad ( $L^*$ ), croma ( $C^*$ ) y tono ( $h^*$ ) del caqui “Rojo Brillante” de la fruta fresca y durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD  $p < 0,05$ .

En la Figura 24 aparecen representadas en el diagrama cromático las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  referentes tanto a la fruta fresca como la sometida a los tres secados analizados. Todos los valores obtenidos se sitúan en el primer cuadrante del espacio de color CIE  $L^*a^*b^*$ , en concreto dentro del área marcada en la figura. Destaca el incremento de la coordenada  $a^*$  en los tres secados respecto a la fruta fresca debido al color rojizo que adquiere la misma al deshidratarse, asociado principalmente a procesos de pardeamiento (Anjum *et al.*, 2021).



**Figura 24.** Coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  del caqui “Rojo Brillante” de la fruta fresca y durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Las barras verticales representan los intervalos LSD  $p < 0,05$ .

En la Figura 25 se puede observar la diferencia total de color del producto obtenido en cada uno de los secados analizados respecto a la fruta fresca ( $\Delta E^*$ ). El valor  $\Delta E^*$  más bajo se obtuvo en la fruta secada a 40 °C, lo que indica un cambio de color menos marcado en comparación con la fruta fresca y, por lo tanto, representa un menor oscurecimiento de la fruta, con menor pardeamiento. Sin embargo, para la fruta secada a 35 °C, el valor  $\Delta E^*$  fue de 48, lo que implica la coloración más oscura al final del proceso en comparación con los valores iniciales. Senadeera *et al.* (2020) evaluaron la influencia de diferentes temperaturas de aire caliente en el color de las rodajas de caqui. Observaron que los mayores cambios de color se dieron en la fruta secada a una temperatura más baja, lo que se relacionó con el mayor tiempo necesario para obtener el producto seco, con el consiguiente oscurecimiento, debido a las reacciones de pardeamiento.



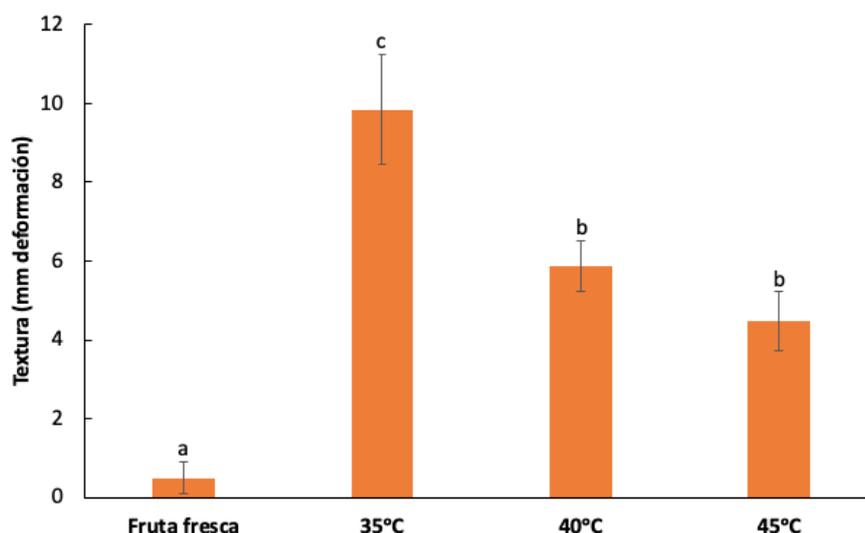
**Figura 25.** Diferencias de color total ( $\Delta E^*$ ) del caqui “Rojo Brillante” durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Letras iguales en cada serie indican grupos homogéneos en el ANOVA simple realizado considerando un nivel de significancia del 95%.

#### 4.2.3. Textura

En la Figura 26 se observa que, tras aplicar una fuerza de 10N, la deformación de la fruta deshidratada resultó significativamente superior a la de la fruta fresca.

Además, la fruta secada a 35 °C presentó una mayor deformación que la secada a 40 y 45 °C, por lo que la deformación de la fruta disminuye al aumentar la tres temperaturas de secado. Es decir, cuanto mayor era la temperatura, más dura y compacta era la textura del caqui.

Además, se observó que la pulpa de la fruta secada a 35 °C presentaba una estructura gelatinosa, mientras que la de 40 °C tenía una textura más gomosa y seca. En cambio, la fruta secada a 45 °C dio lugar a una estructura corchosa interna dura, por lo que sus valores de deformación del fruto fueron también inferiores (Figura 22).



**Figura 26.** Textura del caqui “Rojo Brillante” durante los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C hasta alcanzar una humedad de 30 g agua/100 g producto. Letras iguales en cada serie indican grupos homogéneos en el ANOVA simple realizado considerando un nivel de significancia del 95%.

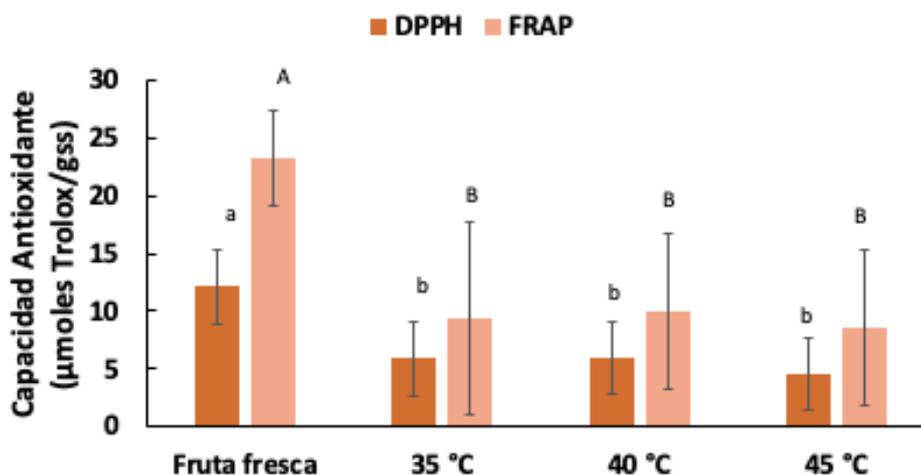
### 4.3. Compuestos bioactivos

#### 4.3.1. Capacidad antioxidante: DPPH y FRAP

En la Figura 27, aparece la capacidad antioxidante analizada tanto para la fruta fresca como para los tres secados estudiados por los métodos DPPH y FRAP.

Por un lado, para la fruta fresca se obtuvo un valor de 12,133  $\mu$ moles Trolox/gss por el método DPPH, mientras que el valor obtenido con FRAP fue de 23,182  $\mu$ moles Trolox/gss. Estos resultados indican que la mayor capacidad antioxidante del caqui es debida a los polifenoles y a la vitamina C (Zhao *et al.*, 2021).

Con el tratamiento de secado del caqui a diferentes temperaturas se produjo una disminución de la capacidad antioxidante, obteniéndose valores de 5,48  $\mu$ moles Trolox/gss y 9,36  $\mu$ moles Trolox/gss mediante el método DPPH y el método FRAP, respectivamente para las tres temperaturas de secado, sin observarse diferencias significativas entre ellas. Esta disminución es consecuencia de que al aumentar la temperatura se lleva a cabo una insolubilización de los taninos. Dicho fenómeno ha sido observado por otros autores como Zhao *et al.* (2021), el cual obtuvo valores similares de capacidad antioxidante para láminas de caqui deshidratado a temperaturas de 50, 60 y 70 °C. Kayacan *et al.* (2019) también obtuvo valores similares de capacidad antioxidante para caqui deshidratado.

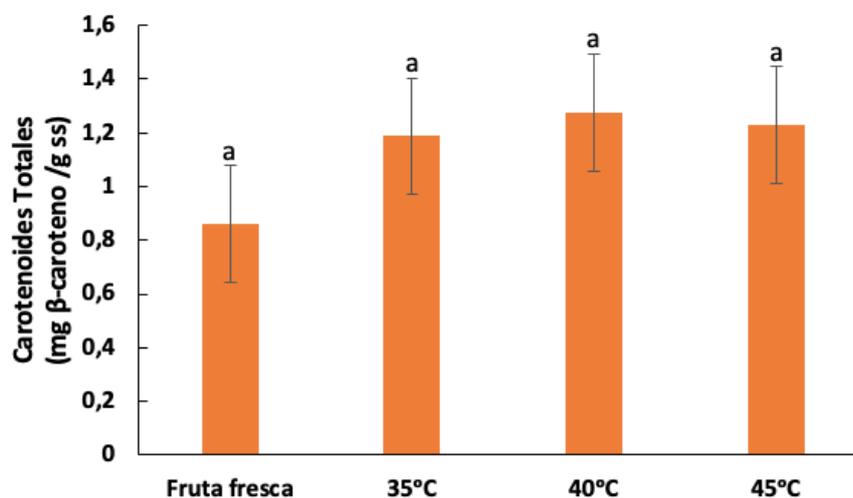


**Figura 27.** Capacidad Antioxidante por los métodos de DPPH y FRAP del caqui entero “Rojo Brillante” fresco y tras los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C. Letras iguales en cada serie indican grupos homogéneos en el ANOVA simple realizado considerando un nivel de significancia del 95%.

#### 4.3.2. Contenido de carotenoides totales

En la Figura 28 se representa el contenido de carotenoides totales tanto para la fruta fresca como para la fruta deshidratada a las tres temperaturas estudiadas. Los carotenoides totales no presentaron diferencias significativas ni entre los tres secados estudiados, ni con la fruta fresca.

Los resultados obtenidos en cuanto a la concentración de carotenoides en caqui son coherentes con otros estudios realizados (Medonça *et al.*, 2015; González *et al.*, 2021).



**Figura 28.** Carotenoides totales del caqui entero “Rojo Brillante” fresco y tras los secados a 35 °C, 40 °C y 45 °C. Letras iguales en cada serie indican grupos homogéneos en el ANOVA simple realizado considerando un nivel de significancia del 95%.

#### 4.4. Composición nutricional y mineral.

Durante todo este Trabajo se han expresado los resultados en base seca debido a que, durante el proceso de secado, la humedad del caqui va cambiando por lo tanto para poder comparar las concentraciones de cada compuesto estudiado hay que expresar los resultados en base seca, para evitar que el contenido en humedad interfiera en los valores obtenidos.

En la Tabla 2 se puede observar la composición de los principales nutrientes (azúcares, fibra, proteína, materia grasa y cenizas) y minerales esenciales del caqui fresco y seco. Se presenta un valor promedio de los resultados obtenidos en el caqui seco a las 3 temperaturas por no haber diferencias estadísticamente significativas ni entre ellas ni con la fruta fresca. A partir de estos resultados, se observa que la composición mineral y nutricional del caqui no se ve afectada por el proceso de secado.

Se observa que el nutriente mayoritario de caqui seco es el azúcar con un 45% en peso húmedo, también contiene un alto contenido en fibra, entorno a un 5% y el contenido en proteína ronda el 2% en peso húmedo. Es destacable el bajo contenido en materia grasa de este producto, entorno a un 0,36%.

Siendo el peso medio de los caquis enteros deshidratados utilizados en este estudio estaba en torno a 65 g, se puede estimar que un fruto de caqui deshidratado proporciona 3,25 g de fibra, lo que supone un 13% de la fibra diaria recomendada (25 g/día) según la EFSA (2017).

En cuanto a la composición mineral, cabe destacar que el macroelemento principal en el caqui es el potasio (K) contenido medio de 198 mg/ 100 g producto, seguido por el fósforo (20 mg/ 100 g producto), el calcio y el magnesio se encontraron en concentraciones de 8,6 y 8,7 mg/100 g producto, respectivamente y el azufre con 13 mg/100 g. Estos valores concuerdan con otros autores (Kursun y Karaca, 2018; Domínguez *et al.*, 2020; Vilhena *et al.*, 2020).

En cuanto a los microelementos, los mayoritarios fueron el hierro y el zinc con una concentración de 0,3 mg/100 g producto, seguidos del manganeso y boro (0,2 mg/g producto). El cobre y molibdeno se encontraron en concentraciones muy bajas (0,09 y 0,00013 mg/100 g producto, respectivamente).

Entre las propiedades de los minerales el magnesio contribuye en la prevención de la aterosclerosis y el potasio en la reducción del riesgo de hipertensión (Dinicolantonio *et al.*, 2018). Además, ciertos macro (Ca, Mg, K, Na) y microminerales (Fe, Cu, Zn, Mn) son necesarios y a veces esenciales para las reacciones enzimáticas, como el calcio para la contracción muscular y la coagulación sanguínea (Drago *et al.*, 2017; Kohlmeier *et al.*, 2015).

El contenido de algunos micro y macrominerales analizados en los frutos del caqui fue mayor que el de otras frutas y verduras más populares como la manzana (0,02–0,10 mg Zn/100 g pf; 4,13–6,00 mg Ca/100 g pf y 4,49–5,00 mg Mg/100 g pf), la pera (6,46–7,00 mg Mg/100 g pf), el plátano (5,00–9,00 mg Ca/100 g pf), el mango (0,08–0,10 mg Zn/100 g pf), el melocotón (0,06–0,17 mg Zn/100 g pf y 6,00–8,00 mg Ca/100 g pf), el arándano (77,00–103,00 mg K/100 g pf), la alcachofa (0,10–0,12

mg Zn/100 g fw) y berenjena (8,40–10,00 mg Ca/100 g fw) según la literatura (Domínguez et al., 2020).

Respecto al contenido en sodio, los frutos de caqui analizados mostraron menores cantidades de este mineral que otras hortalizas como la berenjena (7,00–15,00 mg Na/100 g fw) y la alcachofa (4,00–27,00 mg Na/100 g fw) (USDA, 2020).

En base a los resultados obtenidos el caqui “Rojo Brillante” entero deshidratado es potencialmente capaz de mostrar dos declaraciones nutricionales “Fuente de fibra” y “Sin sodio/sin sal” (Domínguez et al., 2020).

En la Tabla 2 se muestra la comparación de los nutrientes y minerales en base seca y base húmeda del caqui fresco y seco. Se presenta un valor promedio de los resultados obtenidos en el caqui seco a las 3 temperaturas por no haber diferencias estadísticamente significativas ni entre ellas ni con la fruta fresca. En ella se puede observar como el contenido tanto de los nutrientes como de los macro y microelementos se ve aumentado en ambos caquis en peso seco debido a la concentración de los mismos por la ausencia de agua. Este hecho serviría para explicar también porque la concentración en caqui seco en peso húmedo es mayor que en caqui fresco.

*Tabla 2. Comparación de la composición mineral y nutricional del caqui “Rojo Brillante” entre seco y fresco y en base seca y húmeda.*

		Caqui fresco		
		Peso seco (g/100 g ss)	Peso húmedo (g/100 g producto)	
<b>Nutrientes</b>	Azúcares	62.8 ± 0.5	12 ± 5	
	Fibra	6.25 ± 1.39	1.23 ± 0.07	
	Proteína	2.7 ± 0.3	0.53 ± 0.61	
	Ceniza	2.2 ± 0.2	0.4 ± 0.1	
	Materia grasa	0.600 ± 0.001	0.12 ± 0.05	
<b>Minerales</b>	<b>Macroelementos</b>		<b>Peso seco (mg/100 g ss)</b>	<b>Peso húmedo (mg/100 g producto)</b>
		P	97 ± 16	19 ± 3
		K	989 ± 83	193 ± 16
		Ca	45 ± 12	9 ± 2
		Mg	41 ± 4	7,9 ± 0,8
	<b>Microelementos</b>	S	63 ± 6	12,3 ± 1,3
		Fe	0,5 ± 0,07	0,11 ± 0,01
		Mn	0,3 ± 0,1	0,07 ± 0,02
		Cu	0,14 ± 0,013	0,027 ± 0,003
		Zn	0,5 ± 0,17	0,094 ± 0,03
		Mo	0,002 ± 0,0005	0,0004 ± 9 E-05
		B	0,1 ± 0,08	0,03 ± 0,04
		<b>Compuestos Bioactivos</b>	Taninos	<b>Peso seco (g/ 100 g ss)</b>
	2,9 ± 1,1		0,6 ± 0,2	
Carotenoides	<b>Peso seco (mg β- Caroteno/g ss)</b>		<b>Peso húmedo (mg β- Caroteno/g prod)</b>	
<b>Capacidad Antioxidante</b>		0,8 ± 0,5	0,17 ± 0,10	
	DPPH	<b>Peso seco (µmoles trolox/g ss)</b>	<b>Peso húmedo (µmoles trolox/g prod)</b>	
		13 ± 9	2.2 ± 1.6	
	FRAP	23 ± 4	3.7 ± 2	

		Caqui seco		
		Peso seco (g/100 g ss)	Peso húmedo (g/100 g producto)	
<b>Nutrientes</b>	Azúcares	62.45 ± 0.48	45 ± 2	
	Fibra	6.7 ± 1.4	4.8 ± 0.9	
	Proteína	2.7 ± 0.3	1.94 ± 0.13	
	Ceniza	2.267 ± 0.153	1.63 ± 0.18	
	Materia grasa	0.500 ± 0.001	0.36 ± 0.02	
<b>Minerales</b>	<b>Macroelementos</b>		<b>Peso seco (mg/100 g ss)</b>	<b>Peso húmedo (mg/100 g producto)</b>
		P	100 ± 23	20 ± 5
		K	1015 ± 183	198 ± 36
		Ca	44 ± 9	8,6 ± 1,8
		Mg	44 ± 8	8,7 ± 1,6
	<b>Microelementos</b>	S	67 ± 9	13,1 ± 1,8
		Fe	0,5 ± 0,12	0,3 ± 0,02
		Mn	0,3 ± 0,12	0,2 ± 0,09
		Cu	0,14 ± 0,013	0,09 ± 0,008
		Zn	0,5 ± 0,09	0,3 ± 0,12
		Mo	0,0015 ± 0,0009	0,0013 ± 4E-04
		B	0,08 ± 0,08	0,2 ± 0,01
		<b>Compuestos Bioactivos</b>	Taninos	<b>Peso seco (g/100 g ss)</b>
	0,07 ± 0,03		0,05 ± 0,02	
Carotenoides	<b>Peso seco (mg β- Caroteno/g prod)</b>		<b>Peso húmedo (mg β- Caroteno/g prod)</b>	
<b>Capacidad Antioxidante</b>		1,2 ± 0,1	0,90 ± 0,08	
	DPPH	<b>Peso seco (µmoles trolox/g ss)</b>	<b>Peso húmedo (µmoles trolox/g prod)</b>	
		5,6 ± 0,8	4,0 ± 0,4	
	FRAP	9,3 ± 0,8	6,7 ± 0,5	

## 5. Conclusiones

La evaluación del producto a lo largo del proceso de secado muestra que el aumento de temperatura de secado produce una disminución de la actividad de agua, lo que provoca un incremento del espesor de la epidermis. Además, la humedad buscada de 30 g de agua/100 g de producto se alcanza a los 12, 8 y 7 días en los tratamientos de secado de 35 °C, 40 °C y 45 °C, respectivamente.

Por otro lado, durante el proceso de secado se produce un aumento de sólidos solubles totales debido a la pérdida de humedad, mientras que los taninos solubles se reducen durante todo el proceso de secado, siendo el punto de desastringencia adecuado a los 10 días en el secado a 35°C y, a los 5 días en los secados a 40°C y 45°C.

La caracterización del producto final indica que la textura se ve afectada por la temperatura de manera que la deformación de la fruta disminuye conforme se aumentan las tres temperaturas analizadas. Cabe destacar que la pulpa de la fruta secada a 35 °C presenta una estructura gelatinosa, mientras que la de 40 °C era más gomosa y seca. En cambio, la fruta secada a 45 °C da lugar a una estructura corchosa interna dura, con lo que sus valores de deformación del fruto fueron también inferiores.

El color externo del producto se ve influenciado por la temperatura de secado, siendo el secado de 40 °C es el que presenta valores más similares con la fruta fresca cuando se alcanza el contenido de humedad de 30 g de agua/100 g de producto. En el secado a 35 °C se produce un oscurecimiento de la fruta más pronunciado que en el resto de temperaturas.

Por otra parte, el tratamiento de secado del caqui a diferentes temperaturas produce una disminución de la capacidad antioxidante, sin observarse diferencias significativas entre los tres secados analizados. Sin embargo, este cambio no es notable en el contenido de carotenoides totales el cual no presenta diferencias significativas ni entre los tres secados estudiados, ni con la fruta fresca.

Por último, la composición nutricional y mineral del caqui no se ve afectada por el proceso de secado. El mineral mayoritario presente en el caqui deshidratado fue el potasio (198 mg/ 100 g producto), seguido por el fósforo (20 mg/ 100 g producto). En cuanto a los microelementos mayoritarios fueron el hierro y el zinc con una concentración de 0,3 mg/100 g producto, seguidos del manganeso y boro (0,2 mg/g producto). Cabe destacar el alto contenido en fibra del caqui deshidratado (5%) y el bajo contenido en grasa (<0,4%).

Con todo ello, se puede concluir que el secado a 40 °C es el óptimo, ya que permite obtener un producto de calidad pero empleando menor tiempo que el de 35°C y menor coste energético que el secado a 45 °C.

## 6. Bibliografía

- ANJUM, N., BHAT, A., y HAMEED, F. (2021). "Effect of drying methods on chemical composition, color and bioactive compounds of persimmon (*Diospyros kaki* L.) pulp" en *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, Vol. 22, Nº 39-40, p. 67-76.
- AOAC INTERNACIONAL. *Official Methods of Analysis*.  
<<https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1687699>> [Consulta: 12 de julio 2024]
- ARNAL, L., y DEL RÍO, M. A. (2004). "Effect of cold storage and removal astringency on quality of persimmon fruit (*Diospyros kaki*, L.) cv. Rojo Brillante" en *Food science and technology international*, Vol. 10, Nº 3, p. 179-185.
- ARNAL, L., SALVADOR, S., MONTERDE, A. y CUQUERELLA, J. (2005). "Alteraciones de caqui 'Rojo Brillante' provocadas por las bajas temperaturas" en *V Congreso Ibérico en Ciencias Hortícolas. IV Congreso Iberoamericano de Ciencias Hortícolas*, Vol. 4, p. 22-27.
- ARTÉS CALERO, F. y ARTÉS HERNÁNDEZ, F. D. A. (2002). "Daños por frío en la postrecolección de frutas y hortalizas" en *Avances en Ciencias y Técnicas del Frío-1. Congreso Español de Ciencias y Técnicas del Frío (1. 2002. Cartagena)*. Cartagena: Universidad Politécnica, p. 299-310.
- BADENES, M. L. (2014). "Caqui" en *La fruticultura del siglo XXI en España*, Hueso Martín, J. J. El Ejido, Almería: Cajamar Caja Rural, p. 263-274.
- BEDCA. *Spanish Food Composition Database*.  
<<https://www.bedca.net/bdpub/>> [Consulta: 6 de agosto 2024]
- BELÉN-CAMACHO, D. R., MORENO-ÁLVAREZ, M. J., ALEMÁN, R. y ÁLVAREZ, F. (2004). "Effect of drying temperature on degradation of carotenoids in coroba (*Jessenia polycarpa* Karst) fruits" en *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, Vol. 4, Nº3, p. 206-210.
- BESADA, C., ARNAL, L. y SALVADOR, A. (2008B). "Improving storability of persimmon cv. Rojo Brillante by combined use of preharvest and postharvest treatments" en *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 50, Nº 2-3, p. 169-175.
- BESADA, C. (2008A). *Mejora de la tecnología de desastringencia, conservación y comercialización de caqui "Rojo Brillante" para consumo en fresco*. Tesis. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- BESADA C., NAVARRO P., VENDRELL M. y SALVADOR A. (2015). "Tecnología poscosecha del caqui" en *El cultivo del caqui*, Badenes, M. L., Intrigliolo, D. S., Salvador, A. & Vicent, A. València: Generalitat Valenciana, I.V.I.A.
- BESADA, C. y SALVADOR, A. (2018). "Postharvest biology and technology of persimmon" en *Postharvest Biology and Technology of Temperate Fruits*, Mir, S., Shah, M., Mir, M. Cham: Springer, p. 371-393.
- BEN-ARIE, R., SAKS, Y., SONEGO, L. y FRANK, A. (1996). "Cell wall metabolism in gibberellin-treated persimmon fruits" en *Plant Growth Regulation*, Vol. 19, p. 25-33.

- CARBONELL, J.V., NAVARRO FABRA, J.L., SENTANDREU, E. y SENDRA, J.M. (2012). "Persimmon-derived food products and production method thereof" en *DigitalCSIC*.
- CÁRCEL, J. A., GARCÍA-PÉREZ, J. V., RIERA, E. y MULET, A. (2007). "Influence of high-intensity ultrasound on drying kinetics of persimmon. *Drying Technology*", Vol. 25, Nº1, p. 185-193.
- CANSO (2020). Certificado Denominación de Origen.  
<<https://cansocoopv.es/do-ribera-del-xuquer/>> [Consulta: 22 de junio 2024]
- CERVERA-CHINER, L., VILHENA, N. Q., LARREA, V., MORAGA, G. y SALVADOR, A. (2024). "Influence of temperature on 'Rojo Brillante' persimmon drying. Quality characteristics and drying kinetics" en *LWT*, Vol. 197, p. 115902.
- CHIRAIT BOIX, A., MARTÍNEZ NAVARRETE, N., GONZÁLEZ MARTÍNEZ. C., TALENS OLIAG, P. y MORAGA BALLESTEROS, G. (2007). *Propiedades físicas de los alimentos*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- DEMIRAY, E. y TULEK, Y. (2017). "The effect of pretreatments on air drying characteristics of persimmons" en *Heat and Mass Transfer*, Vol. 53, p. 99–106.
- DINICOLANTONIO, J. J., LIU, J. y O'KEEFE, J. H. (2018). "Magnesium for the prevention and treatment of cardiovascular disease" en *Open heart*, Vol.5, Nº2, p. e000775.
- DOMÍNGUEZ DÍAZ, L., DORTA, E., MAHER, S., MORALES, P., FERNÁNDEZ-RUIZ, V., CÁMARA, M. y SÁNCHEZ-MATA, M. C. (2020). "Potential Nutrition and Health Claims in Deastringed Persimmon Fruits (*Diospyros kaki* L.), Variety 'Rojo Brillante', PDO 'Ribera del Xúquer' en *Nutrients*, Vol. 12, Nº5, p. 1397.
- DOYMAZ, I. (2012). "Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices (*Diospyros kaki* L.)" en *Energy Conversion and Management*, Vol. 56, p. 199–205.
- DRAGO, S.R. (2017). "Minerals" en *Nutraceutical and functional food components. Effects of innovative processing techniques*, Galanakis, C.M. London: Academic Press, p. 129-157.
- ENRIQUEZ, S. A.; SALAZAR, N. J.; ROBLES, M.; GONZÁLEZ, G.A.; AYALA, J.F. y LÓPEZ, L. X. (2020). "Propiedades bioactivas de frutas tropicales exóticas y sus beneficios a la salud" en *Revista de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*, Vol. 70, Nº3, p. 205-214.
- FERNANDEZ-ZAMUDIO; M.A., BARCO, H. y SCHNEIDER, F. (2020). "Direct Measurement of Mass and Economic Harvest and Post-Harvest Losses in Spanish Persimmon Primary Production" en *Agriculture*, Vol. 10, Nº 12, 581.
- FERNÁNDEZ-ZAMUDIO, M. A. y MALAGÓN, J. (2018). "El caqui en el mediterráneo español: Aspectos botánicos, características agronómicas y costes de implantar el cultivo" en *Agrícola Vergel*, Núm. 414, octubre-noviembre 2018, p. 347-352.
- FITO, P. ANDRÉS, A.; BARAT, J. y ALBORS, A. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- FRIDA. *Food data published by DTU Food*.

< <https://frida.fooddata.dk/?lang=en> > [Consulta: 6 de agosto 2024]

GIORDANI, E., PICARDI, E. y RADICE, S. (2015). "Morfología y fisiología" en *El cultivo del caqui*, Badenes M.L., Intrigliolo D.S., Salvador A., Vicent A. Valencia: Generalitat Valenciana, p. 35-54.

GOLDNER, M. C.; ZAMORA, M. C. y ZULETA, A. (2007). "Astringencia en vinos Malbec argentinos: correlación entre la sensación percibida y el contenido de taninos medidos por el índice de gelatina" en *XI Congreso argentino de ciencia y tecnología de alimentos CYTAL, 2º simposio internacional de nuevas tecnologías*. Buenos Aires. Disponible en:  
<[https://www.conicet.gov.ar/new\\_scp/detalle.php?keywords=&id=27154&congresos=yes&detalle\\_s=yes&congr\\_id=317962](https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=27154&congresos=yes&detalle_s=yes&congr_id=317962)> [Consulta: 25 de mayo 2024]

GONZÁLEZ, C.M., GARCÍA, A.L., LLORCA, E., HERNANDO, I., ATIENZAR, P., BERMEJO, A., MORAGA, G. y QUILES, A. (2021). "Carotenoids in dehydrated persimmon: Antioxidant activity, structure, and photoluminescence" en *LWT*, Vol. 142, p. 111007.

GONZÁLEZ, M.; GIL, R.; MORAGA, G. y SALVADOR, A. (2021). "Natural Drying of Astringent and Non-Astringent Persimmon "Rojo Brillante". Drying Kinetics and Physico-Chemical Properties" en *Foods*, Vol.10, nº3, p.647.

HERNÁNDEZ-CARRIÓN, M., VÁZQUEZ-GUTIÉRREZ, J. L., HERNANDO, I. y QUILES, A. (2014). "Impact of high hydrostatic pressure and pasteurization on the structure and the extractability of bioactive compounds of persimmon "Rojo Brillante" "en *Journal of Food Science*, Vol. 79, Nº1), p. C32-C38.

HOSSEININEJAD, S.; GONZÁLEZ, M.; HERNANDO, S. y MORAGA, G. (2022). "Valorization of Persimmon Fruit Through the Development of New Food Products" en *Frontiers*, Vol.2, p. 914952.

HUR, S. S., KANG, B. H., LEE, D. S., LEE, S. H. y LEE, J. M. (2014). "Quality characteristics of domestic dried persimmon and imported dried persimmon" en *Food Science and Preservation*, Vol. 21, Nº1, p. 140-145.

ICEX (2024). *El caqui en China*.

<[https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/094/documentos/2024/05/anexos/OD\\_El%20caqui%20en%20China%202024\\_REV.pdf](https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/094/documentos/2024/05/anexos/OD_El%20caqui%20en%20China%202024_REV.pdf)> [Consulta: 24 de junio 2024]

IVIA (2016). *Descripción botánica y biología floral del caqui*.

<<https://ivia.gva.es/documents/161862582/162455759/Nota3-Caqui+descripci%C3%B3n+bot%C3%A1nica+y+biolog%C3%ADa+floral.pdf/9f29d067-8947-46c5-aae7-5dd7f6b143f0>> [Consulta: 22 de junio de 2024]

JHSP (2022). *Hoshigaki: El caqui seco japonés*.

<<https://www.japanhousesp.com.br/es/artigo/hoshigaki-caqui-seco-japones/>> [Consulta: 28 de julio 2024]

JIA, X., KATSUNO, N. y NISHIZU, T. (2019). "Changes in the physico-chemical properties of persimmon (*Diospyros kaki* thunb.) during drying and quality deterioration during storage" en *Reviews in Agricultural Science*, Vol. 8, Nº 1, p. 14.

- JIA, X., KATSUNO, N. y NISHIZU, T (2020). "Effect of kneading and brushing on the physicochemical properties of "Dojo Hachiya" dried persimmon" en *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 13, p. 871-881.
- KADER, A. A. (2002). *Postharvest technology of horticultural crops*, Vol. 3311. California: University of California Agriculture and Natural Resources.
- KAKI PERSIMON DENOMINACIÓN DE ORIGEN PROTEGIDA RIBERA DEL XÚQUER (2024). *Variedad Rojo Brillante*. <<https://persimon.eu/el-caqui/variedad-rojo-brillante/#:~:text=El%20caqui%20Rojo%20Brillante%20es,comarca%20de%20la%20Ribera%20Alta>> [Consulta: 22 de junio 2024]
- KARAMAN, S., TOKER, Ö. S., YÜKSEL, F., ÇAM, M., KAYACIER, A. y DOGAN, M. (2014). "Physicochemical, bioactive, and sensory properties of persimmon-based ice cream: Technique for order preference by similarity to ideal solution to determine optimum concentration" en *Journal of dairy Science*, Vol. 97, Nº1, p. 97-110.
- KAYACAN, S., KARASU, S., AKMAN, P. K., GOKTAS, H., DOYMAZ, I. y SAGDIC, O. (2020). "Effect of different drying methods on total bioactive compounds, phenolic profile, in vitro bioaccessibility of phenolic and HMF formation of persimmon" en *Lwt*, Vol. 118, p. 108830.
- KRAMMES, J. G., ARGENTA, L. C. y VIEIRA, M. J. (2005). "Influences of 1-methylcyclopropene on quality of persimmon fruit cv. 'Fuyu' after cold storage" en *X International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production 727*, p. 513-518.
- KOHLMEIER, M. "Minerals and Trace Elements" en *Nutrient metabolism: structures, functions, and genes*, Kohlmeier, M. Amsterdam: Academic Press, p. 673-807.
- KURSUN, E. y KARACA, H. (2016). "Dried persimmons: bioactive components, health aspects and current drying techniques" en *VI International Symposium on Persimmon 1195*, p. 169-176.
- LEE YONGMOON, L. Y., JANG SUNJU, J. S. y LEE YONGJAE, L. Y. (1997). "Effect of preharvest application of MGC-140 and GA3 on the storability of 'Fuyu' persimmon (*Diospyros kaki* L.) en *Journal of the Korean Society for Horticultural Science (Korea Republic)*, Vol.38, Nº2, p. 157-161.
- LIU, M., YANG, K., QI, Y., ZHANG, J., FAN, M., y WEI, X. (2018). "Fermentation temperature and the phenolic and aroma profile of persimmon wine" en *Journal of the Institute of Brewing*, Vol. 124, Nº2, p. 269-275.
- LUCAS-GONZÁLEZ, R., PELLEGRINI, M., VIUDA-MARTOS, M., PÉREZ-ÁLVAREZ, J. Á., y FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. (2019). "Persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) coproducts as a new ingredient in pork liver pâté: influence on quality properties" en *International Journal of Food Science & Technology*, Vol. 54, Nº4, p. 1232-1239.
- LUCAS-GONZÁLEZ, R., PÉREZ-ÁLVAREZ, J. Á., MOSCARITOLO, S., FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J., SACCHETTI, G., y VIUDA-MARTOS, M. (2021). "Evaluation of polyphenol bioaccessibility and kinetic of starch digestion of spaghetti with persimmon (*Diospyros kaki*) flours coproducts during in vitro gastrointestinal digestion" en *Food Chemistry*, Vol. 338, p. 128142.

- LUCAS-GONZÁLEZ, R., VIUDA-MARTOS, M., ÁLVAREZ, J. A. P. y FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. (2018). "Changes in bioaccessibility, polyphenol profile and antioxidant potential of flours obtained from persimmon fruit (*Diospyros kaki*) co-products during in vitro gastrointestinal digestion" en *Food chemistry*, Vol. 256, p. 252-258.
- MALAGÓN, J. (2020). "Cultivo del caqui" en *Dirección General de Desarrollo Rural*. Valencia: Generalitat Valenciana.
- MANABE, M., KAMIKAWA, H. y TARUTANI, T. (1980). "A Study of the Drying Japanese Persimmons III. Effects of Drying Temperatures on Astringency Removal of Persimmon Fruits" en *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, Vol. 48, Nº4, p. 519-524.
- MENDONÇA, V.D., DAIUTO, E.R., FURLANETO, K.A., RAMOS, J.A., FUJITA, E., VIEITES, R.L., TECCHIO, M.A. y CARVALHO, L.D., (2015). "Physiochemical and biochemical aspects during the refrigerated storage of the persimmon in passive modified atmosphere" en *Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais*, Vol. 3, Nº1, p. 16-21.
- MOON, Y. J. y CHA, Y. S. (2008). "Effects of persimmon-vinegar on lipid metabolism and alcohol clearance in chronic alcohol-fed rats" en *Journal of Medicinal Food*, Vol. 11, Nº1, p. 38-45.
- NAKANO, R., YONEMORI, K., SUGIURA, A. y KATAOKA, I. (1996). "Effect of gibberellic acid and abscisic acid on fruit respiration in relation to final swell and maturation in persimmon" en *International Persimmon Symposium 436*, p. 203-214.
- NOVILLO, P., GIL, R., BESADA, C. y SALVADOR, A. (2014). "Astringency removal of 'Rojo Brillante' persimmon by combining CO<sub>2</sub> and ethanol application" en *V International Conference Postharvest Unlimited 1079*, p. 599-604.
- OSORIO, L. L. D. R., FLÓREZ-LÓPEZ, E. y GRANDE-TOVAR, C. D. (2021). "The potential of selected agri-food loss and waste to contribute to a circular economy: Applications in the food, cosmetic and pharmaceutical industries" en *Molecules*, Vol. 26, Nº2, p. 515.
- PATHARE, P. B., OPARA, U. L. y AL-SAID, F. A. J. (2013). "Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review" en *Food and bioprocess technology*, Vol. 6, p. 36-60.
- PERUCHO, R. (2015). "El cultivo del caqui antecedentes e importancia económica" en *El cultivo del caqui*, Badenes M.L., Intrigiolo D.S., Salvador A., Vicent A. Valencia: Generalitat Valenciana, p. 17-30.
- PULIDO, R., BRAVO, L., y SAURA-CALIXTO, F. (2000). "Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay" en *Journal of agricultural and food chemistry*, Vol. 48, Nº8, p. 3396-3402.
- RAGAZZINI, D. (1985). *El kaki*. Madrid: Mundi Prensa.
- SALVADOR, A., ARNAL, L., MONTERDE, A. y CUQUERELLA, J. (2004). "Reduction of chilling injury symptoms in persimmon fruit cv. 'Rojo Brillante' by 1-MCP" en *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 33, Nº3, p. 285-291.

- SENADEERA, W., ADILETTA, G., ÖNAL, B., DI MATTEO, M. y RUSSO, P. (2020). "Influence of different hot air drying temperatures on drying kinetics, shrinkage, and colour of persimmon slices" en *Foods*, Vol. 9, Nº1, p. 101.
- SINGLETON, V. L., ORTHOFER, R. y LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. (1999). "Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent" en *Methods in enzymology*, Vol. 299, p. 152-178).
- STATGRAPHICS *Centurion* (Versión 19.1.2, 2019). Statgraphics Consulting.
- SUGIURA, A. y Taira, S. (2008). "Dried persimmon production in Japan" en *IV International Symposium on Persimmon 833*, p. 71-79.
- SUGIURA, A., KATAOKA, I. y TOMANA, T. (1983). "Use of refractometer to determine soluble solids of astringent fruits of Japanese persimmon (*Diospyros kaki* L.)" en *Journal of horticultural science*, Vol. 58, Nº2, p. 241-246.
- TESSMER, M. A., BESADA, C., HERNANDO, I., APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B., QUILES, A., y SALVADOR, A. (2016). "Natural insolubilization of tannins during maturation of astringent and non-astringent persimmon cultivars" en *IX Simpósio Ibérico de Maturação e Pós-Colheita, Lisboa, Portugal*.
- USDA. *Food Composition*.  
<https://www.nal.usda.gov/human-nutrition-and-food-safety/food-composition> [Consulta: 6 de agosto 2024]
- VILHENA, N. Q., GIL, R., LLORCA, E., MORAGA, G., y SALVADOR, A. (2020). "Physico-chemical and microstructural changes during the drying of persimmon fruit cv. Rojo Brillante harvested in two maturity stages" en *Foods*, Vol. 9, Nº7, p. 870.
- WOLFE, K., WU, X., y LIU, R. H. (2003). "Antioxidant activity of apple peels" en *Journal of agricultural and food chemistry*, Vol. 51, Nº3, p. 609-614.
- WU, P. y HWANG, L.S. (2002). "Determination of soluble persimmon tannin by high performance gel permeation chromatography" en *Food Research International*, Vol. 35, Nº8, p. 793-800.
- YAQUB, S., FAROOQ, U., SHAFI, A., AKRAM, K., MURTAZA, M. A., KAUSAR, T. y SIDDIQUE, F. (2016). "Chemistry and functionality of bioactive compounds present in persimmon" en *Journal of Chemistry*, Vol. 2016, Nº1, p. 3424025.
- YAMADA, H., ANDO, T., TSUTANI, K., AMANO, S. y YAMAMOTO, Y. (2009). "Mechanism of browning occurring during the processing of semi-dried persimmons" en *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, Vol. 78, Nº1, p. 124-130.
- ZHANG, Z., ZHANG, Y., HUBER, D. J., RAO, J., SUN, Y. y LI, S. (2010). "Changes in prooxidant and antioxidant enzymes and reduction of chilling injury symptoms during low-temperature storage of 'Fuyu' persimmon treated with 1-methylcyclopropene" en *HortScience*, Vol. 45, Nº11, p. 1713-1718.
- ZHAO, C. C., AMEER, K. y EUN, J. B. (2021). "Effects of various drying conditions and methods on drying kinetics and retention of bioactive compounds in sliced persimmon" en *Lwt*, Vol. 143, p. 111149.