



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

CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO EN FIBRA
EXTRAÍDA POR DIFERENTES MÉTODOS DE CAQUI
ASTRINGENTE Y NO ASTRINGENTE

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Agronómica

AUTOR/A: Hermoso Delgado, Roberto

Tutor/a: Castelló Gómez, María Luisa

Cotutor/a: Ortolá Ortolá, M^a Dolores

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO EN FIBRA EXTRAÍDA POR DIFERENTES MÉTODOS DE CAQUI ASTRINGENTE Y NO ASTRINGENTE

Valencia, Junio 2023.

Resumen:

La elevada producción de caqui de la variedad *Rojo Brillante* en la Comunidad Valenciana, el destrío y sus excedentes, plantean la necesidad de buscar alternativas al consumo de esta fruta en fresco. Por sus propiedades funcionales beneficiosas para la salud, como su alto contenido de fibra y antioxidantes, pueden suponer una vía para la obtención de productos con alto valor añadido para su incorporación en otras matrices alimentarias. Por ello, el objetivo de este trabajo es evaluar y cuantificar el contenido de fibra total, soluble e insoluble de piel y pulpa de caqui (astringente y no astringente) obtenida por diferentes métodos de extracción (enzimática, ácida y alcalina). Para la extracción de fibra la muestra se liofilizó y molió previamente. Además, se ha analizado el color de los polvos de caqui obtenidos, así como su capacidad antioxidante y su contenido en fenoles. Los resultados indican que el contenido en fibra del caqui no depende de su nivel de astringencia y que predomina la insoluble. Además, se recomienda cuantificar la soluble e insoluble con el método enzimático y la total con el método ácido, por ser más económico. El método alcalino parece menos fiable por sobrevalorar la fibra soluble e infravalorar la insoluble. Este trabajo se ha realizado en el marco de unas prácticas de empresa financiadas por la Càtedra Catadau Agroalimentària - UPV.

Palabras clave: Caqui, fibra, astringencia, extracción, color, capacidad antioxidante, fenoles totales.

Alumno: Roberto Hermoso Delgado.

Tutora académica: María Luisa Castelló Gómez.

Cotutora: María Dolores Ortolá Ortolá.

CARACTERITZACIÓ DEL CONTINGUT EN FIBRA OBTINGUDA PER DIFERENTS MÈTODES DE CAQUI ASTRINGENT I NO ASTRINGENT

València, Juny 2023.

Resum:

L'elevada producció de caqui de la varietat *Rojo Brillante* a la Comunitat Valenciana, el destrío i els seus excedents, plantegen la necessitat de buscar alternatives al consum d'aquesta fruita en fresc. Per les seues propietats funcionals beneficioses per a la salut, com el seu alt contingut de fibra i antioxidants, poden suposar una via per a l'obtenció de productes amb alt valor afegit per a la seua incorporació en altres matrius alimentàries. Per això, l'objectiu d'aquest treball és avaluar i quantificar el contingut de fibra total, soluble i insoluble de pell i polpa de caqui (astringent i no astringent) obtinguda per diferents mètodes d'extracció (enzimàtica, àcida i alcalina). Per a l'extracció de fibra la mostra es va liofilitzar i es va moldre prèviament. A més, s'ha analitzat el color de la pols de caqui obtinguda, així com la seua capacitat antioxidant i el seu contingut en fenols. Els resultats indiquen que el contingut en fibra del caqui no depén del seu nivell d'astringència i que predomina la insoluble. A més, es recomana quantificar la soluble i insoluble amb el mètode enzimàtic i la total amb el mètode àcid, per ser més econòmic. El mètode alcalí sembla menys fiable per sobrevalorar la fibra soluble i infravalorar la insoluble. Aquest treball s'ha realitzat en el marc d'unes pràctiques d'empresa finançades per la Càtedra Catadau Agroalimentària - UPV.

Paraules clau: Caqui, fibra, astringència, extracció, color, capacitat antioxidant, fenols.

Alumne: Roberto Hermoso Delgado.

Tutora acadèmica: María Luisa Castelló Gómez.

Cotutora: María Dolores Ortolá Ortolá.

FIBRE CONTENT CHARACTERISATION EXTRACTED BY DIFFERENT METHODS OF ASTRINGENT AND NON-ASTRINGENT PERSIMMONS

Valencia, June 2023.

Abstract:

The high production of the *Rojo Brillante* variety of persimmon in the Valencian Community, the waste and the surpluses, raise the need to look for alternatives to the consumption of this fruit in fresh. Because of its health-promoting functional properties, such as its high fibre and antioxidant content, it could be a way of obtaining products with high added value for incorporation into other foodstuffs. Therefore, the aim of this work is to evaluate and quantify the total, soluble and insoluble fibre content of persimmon peel and pulp (astringent and non-astringent) obtained by different extraction methods (enzymatic, acid and alkaline). For fibre extraction, the sample was freeze-dried and moulded previously. In addition, the colour of the persimmon powder obtained was analysed, as well as its antioxidant capacity and phenol content. The results indicate that the fibre content of persimmon does not depend on its level of astringency and that insoluble fibre predominates. Furthermore, it is recommended to quantify soluble and insoluble fibre using the enzymatic method and total fibre using the acid method, as it is more economical. The alkali method seems less reliable because it overestimates soluble fibre and underestimates insoluble fibre. This work has been carried out within the framework of an internship funded by the Càtedra Catadau Agroalimentària - UPV.

Keywords: Persimmon, fiber, astringency, extraction, color, antioxidant capacity, total phenols.

Student: Roberto Hermoso Delgado.

Academic tutor: María Luisa Castelló Gómez.

Cotutora: María Dolores Ortolá Ortolá.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. EL CULTIVO DE CAQUI	1
1.2. PRODUCCIÓN DE CAQUI EN ESPAÑA Y EN LA COMUNIDAD VALENCIANA	2
1.3. LA ASTRINGENCIA DEL CAQUI Y CÓMO ELIMINARLA	4
1.4. LA FIBRA DIETÉTICA	5
1.4.1. Importancia de la fibra en la dieta	6
1.4.2. Características de la fibra soluble e insoluble	7
1.4.3. Métodos de extracción/análisis de fibra	7
1.5. FORMATOS DESHIDRATADOS DE LAS FRUTAS Y HORTALIZAS. USOS	7
2. OBJETIVOS	8
3. MATERIAL Y MÉTODOS	9
3.1. MATERIA PRIMA	9
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	9
3.2.1. Nivel de astringencia	9
3.2.2. Sólidos solubles, pH y humedad	10
3.3. LIOFILIZACIÓN	10
3.4. EXTRACCIÓN DE LA FIBRA DE CAQUI	10
3.4.1. Extracción enzimática	11
3.4.2. Extracción ácida y alcalina	11
3.5. CUANTIFICACIÓN DE LA FIBRA DIETÉTICA SOLUBLE E INSOLUBLE	11
3.5.1. Cuantificación de la fibra dietética extraída por el método enzimático ...	11
3.5.2. Cuantificación de la fibra dietética extraída por los métodos ácido y alcalino	13
3.6. PROPIEDADES ÓPTICAS	13
3.7. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE	14
3.8. FENOLES TOTALES	15
3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	16
4. RESULTADOS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS	16
4.1. NIVEL DE ASTRINGENCIA	16
4.2. SÓLIDOS SOLUBLES, pH Y HUMEDAD	17
4.3. CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE CAQUI	18
4.4. PROPIEDADES ÓPTICAS	20

4.5. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE	21
4.6. FENOLES TOTALES	22
5. CONCLUSIONES	23
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	23
7. ANEXOS.....	26
7.1. ANEXO I. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de la producción mundial de caqui por país en el año 2017 (Fuente: FAO, 2021).	1
Figura 2: Evolución de la producción de caqui en los principales países productores (Fuente: FAO 2023. Elaboración propia).	2
Figura 3: Evolución de la producción y de la superficie cultivada de caquis en España (Fuente: FAO 2023).....	3
Figura 4: Prueba de astringencia caqui.....	9
Figura 5: Recta de calibrado de Trolox.....	15
Figura 6: Recta de calibrado de ácido gálico.....	16
Figura 7: Caqui astringente (izquierda) y caqui no astringente (derecha).....	16
Figura 8: Contenido en sólidos solubles de los caquis frescos no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.....	17
Figura 9: pH de los caquis frescos no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.....	17
Figura 10: Contenido en agua (%) de los caquis frescos no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.....	18
Figura 11: % de fibra de la piel (PI) de caqui liofilizado, por los métodos de extracción enzimático (EE), ácido (EAC) y alcalino (EAL), de caquis no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.....	19
Figura 12: % de fibra de la pulpa (PU) de caqui liofilizado, por los métodos de extracción enzimático (EE), ácido (EAC) y alcalino (EAL), de caquis no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.....	19
Figura 13: Luminosidad del polvo de caqui liofilizado obtenido de la pulpa (PU) y de la piel (PI), de caquis no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.....	20
Figura 14: Ubicación en el plano cromático a* b* del color de las muestras de caqui liofilizado obtenido de la pulpa (PU) y de la piel (PI), de caquis no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.....	20

Figura 15: Color polvo de caqui liofilizado de la pulpa no astringente (A), pulpa astringente (B), piel no astringente (C) y piel astringente (D). 21

Figura 16: Capacidad antioxidante de las muestras de caqui liofilizado obtenido de la pulpa (PU) y de la piel (PI), de caquis no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%. 21

Figura 17: Contenido en fenoles totales del caqui fresco y liofilizado obtenido de la pulpa (PU) y de la piel (PI), de caquis no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%. Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%. ... 22

1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL CULTIVO DE CAQUI

El caqui (*Diospyros kaki L.f.*) es un árbol frutal perteneciente a la familia Ebenaceae, género *Diospyros*. Es originario de China, donde su cultivo se inició algunos siglos antes de Cristo. El cultivo se introdujo en Japón en el siglo VII y en Corea en el siglo XIV. En Europa se empezó a cultivar en el siglo XVII y en el siglo siguiente, ya era conocido en todo el mundo (Llácer y Badenes, 2002).

La producción de caqui respecto a otros cultivos a nivel mundial tiene poca relevancia. Sin embargo, la producción y la superficie cultivada han aumentado considerablemente a lo largo de los últimos años. Según los datos de la FAO, para el año 2017 la producción mundial de caqui se sitúa en las 4.547.891,76 toneladas con una superficie de 948.278 ha. El país con mayor producción es China, con una producción superior a tres millones de toneladas. En la Figura 1 se muestra la producción de caqui en los principales países productores (FAO, 2023).

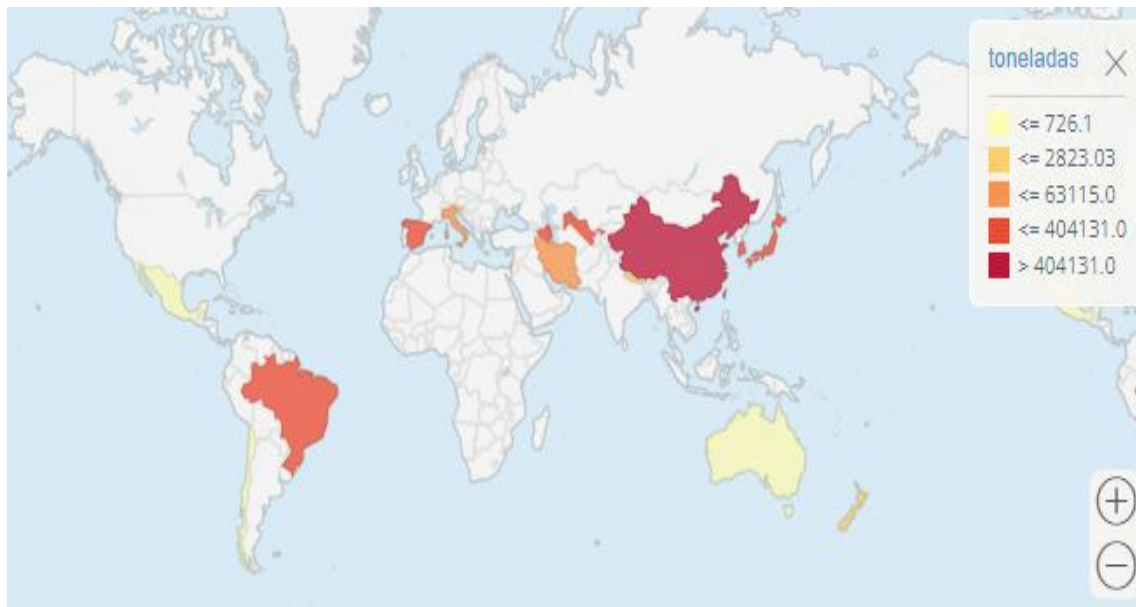


Figura 1: Distribución de la producción mundial de caqui por país en el año 2017 (Fuente: FAO, 2021).

La producción de caqui y la superficie cultivada en los países asiáticos (China, Japón y Corea) ha representado siempre más de un 85% del total de la producción mundial. La influencia de los países productores no asiáticos es muy pequeña, por lo que el cultivo de caqui no tiene tanta relevancia, considerándose un frutal menor (Alberca et al., 2018; FAO, 2023).

En los últimos años, la producción mundial de caqui ha ido aumentando, especialmente en China. La producción en España ha aumentado considerablemente, llegando a ser el segundo país productor de caqui en 2017 según la FAO. En la Figura 2 se representa la evolución de la producción de caqui en los principales países productores (FAO, 2023).

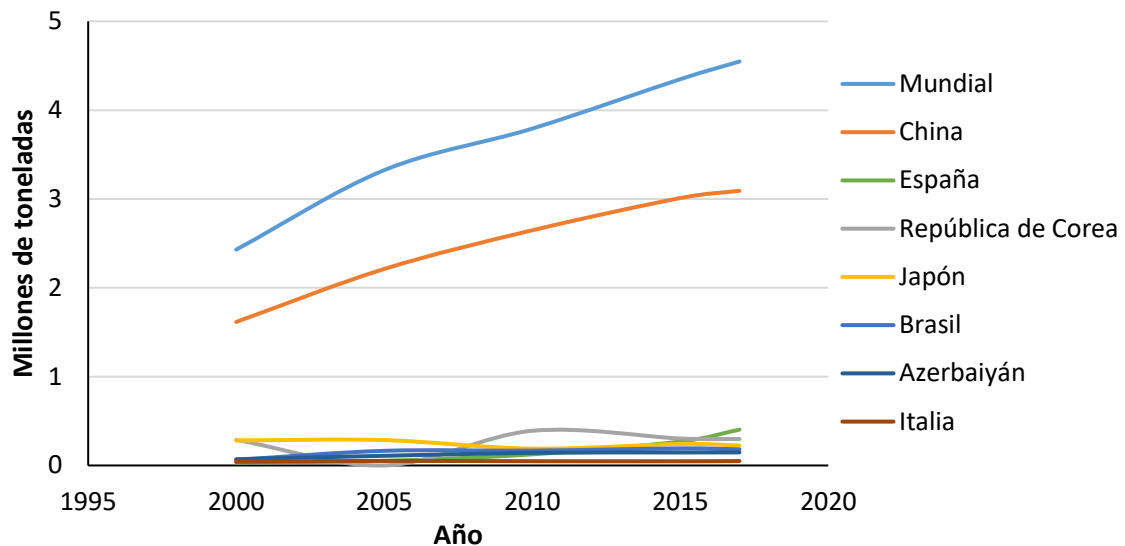


Figura 2: Evolución de la producción de caqui en los principales países productores (Fuente: FAO 2023. Elaboración propia).

Las variedades de caqui desde el punto de vista comercial se dividen en astringentes: *Rojo Brillante, Triumph, Tomatero*, etc... y, no-astringentes: *Fuyu, Hana-Fuyu, Jiro*, etc.... La disponibilidad de este cultivo en el mercado está limitada debido a su corta estacionalidad a los meses de octubre-enero (Martínez, 2016).

1.2. PRODUCCIÓN DE CAQUI EN ESPAÑA Y EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

En España, el caqui fue introducido a finales del siglo XIX, al igual que en el resto de los países productores del área mediterránea. Su cultivo se difundió inicialmente como árbol ornamental y también, por la calidad de su madera. Como frutal fue cultivado principalmente como árboles aislados, mezclados con otros frutales en los jardines, huertos familiares o en pequeñas plantaciones destinadas al consumo local, distribuidas por todo el litoral mediterráneo, por las regiones de Cataluña, Andalucía y la Comunitat Valenciana (Llácer y Badenes, 2002).

A mediados del siglo XX comienzan a realizarse pequeñas plantaciones comerciales con las variedades más comunes: *Tomatero* en la comarca del Alto Palancia en Castellón y *Picudo (Costata)* y *Cristalino* en la comarca de la Ribera Alta en Valencia. En esta comarca aparece la variedad *Rojo Brillante*, que ha supuesto una auténtica revolución en el cultivo del caqui en la Comunitat Valenciana y en España (Perucho et al., 2015).

Durante los últimos años, el cultivo del caqui en España se ha incrementado de manera exponencial, ligado a la aparición de la variedad astringente *Rojo Brillante*, de gran calidad y muy productiva, con frutos grandes. Además, este aumento se asocia también a la aplicación de la tecnología postcosecha empleada para eliminar de forma eficiente la astringencia de esta variedad. Este tratamiento, desarrollado por el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), consiste en someter a los frutos a altas concentraciones de CO₂, que insolubilizan los taninos responsables de la astringencia manteniendo la firmeza del fruto (Arnal y Del Río, 2003).

Como consecuencia, se ha logrado una mejora sustancial de los procesos de comercialización que ha supuesto un desarrollo vertiginoso de esta variedad, permitiendo exportarla a mercados lejanos (Arnal y Del Río, 2003; Perucho et al., 2015).

En la actualidad, según los datos de la FAO, para el año 2017 la producción de caqui en España se sitúa en 404.131 toneladas con una superficie de 18.526 ha. En la Figura 3 se representa la evolución de la producción y de la superficie cultivada de caquis en España (FAO, 2023).

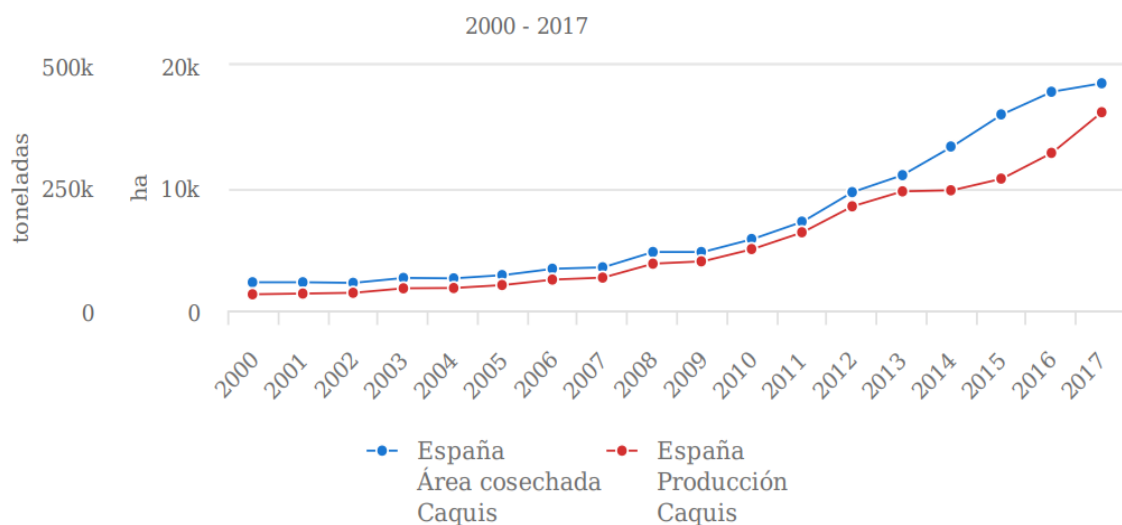


Figura 3: Evolución de la producción y de la superficie cultivada de caquis en España (Fuente: FAO 2023).

Actualmente, la distribución varietal del caqui en España se centra en la variedad *Rojo Brillante*. Las dos principales comunidades autónomas españolas productoras de caqui son la Comunitat Valenciana y Andalucía. En la comarca de la Ribera Alta, en la provincia de Valencia, se localiza la mayor producción de caqui en España, constituyendo el 90% de las plantaciones de caqui españolas, suponiendo una cantidad de 360.000 toneladas aproximadamente. La producción en Andalucía es de aproximadamente 12.000 toneladas/año, y se centra en la variedad *Triumph*, aunque en los últimos años la mayor parte de las nuevas plantaciones ya son de Rojo Brillante (Perucho et al., 2015).

En vista a la gran expansión del caqui en la Comunitat Valenciana, especialmente en la comarca de la Ribera Alta, en los años 1997 y 1998, se creó el Consejo Regulador de la Denominación de Origen Protegida Kaki Ribera del Xúquer, con la finalidad de garantizar la calidad y procedencia del caqui *Rojo Brillante* producido en dicha zona. En el año 2001 fue reconocida como Denominación de Origen Protegida por la Comisión Europea (DOP Kaki Ribera Del Xúquer, 2023; Perucho et al., 2015).

El método desarrollado a finales de los años noventa para eliminar la astringencia del caqui, permite la recolección del fruto antes de su completa maduración y comercializarlo con pulpa firme. Esto provocó cierta confusión entre los consumidores que conocían su forma de consumo tradicional, es decir, cuando el caqui estaba sobremaduro y tenía un color rojo intenso con carne blanda y gelatinosa. Para facilitar el reconocimiento de esta nueva forma de consumo, se introdujo la marca comercial *Persimon*, marca registrada para que el consumidor reconozca los caquis de la variedad *Rojo Brillante* de la Denominación de Origen "Kaki Ribera del Xúquer". El objetivo era que cuando el consumidor hallase dicha marca comercial, supiese que los caquis estaban listos para comer. Estos caquis tienen un color anaranjado con una carne firme y crujiente (DOP Kaki Ribera Del Xúquer, 2023).

El caqui comercializado con la marca *Persimon* ha ido ganando terreno al consumo de caqui blando tradicional y en estos momentos ocupa prácticamente todo el mercado (Perucho et al., 2015).

Tras grandes trabajos de promoción llevados a cabo por la CRDO Kaki Ribera del Xúquer, la experiencia y la capacidad exportadora de las cooperativas y empresas asociadas, han permitido introducir la marca Persimon y su forma de consumo en nuevos mercados, tanto nacional como internacional. Esto ha supuesto un aumento exponencial de las exportaciones de caqui en los últimos años, pasando de un porcentaje inferior al 25% en 1997 a más del 75% en la actualidad. El consumo nacional creció, especialmente a partir de 2005, como consecuencia de las fuertes inversiones en campañas de promoción y de la entrada del caqui en las principales cadenas de distribución alimentaria en España (Perucho et al., 2015).

La introducción del caqui Persimon en los países donde no había precedentes de consumo de caqui blando tradicional, como Alemania, supuso una aceptación rápida, sin embargo, en los mercados tradicionales acostumbrados al caqui blando resultó más lenta (Perucho et al., 2015).

1.3. LA ASTRINGENCIA DEL CAQUI Y CÓMO ELIMINARLA

La astringencia es una sensación táctil de las superficies bucales cuya lubricación habitual se ve afectada por la precipitación de las proteínas de la saliva, causando sensación de sequedad del epitelio como resultado de la exposición a sustancias tales como ácidos tánicos (Besada et al., 2015).

Tal como se ha comentado anteriormente, una característica particular de ciertas variedades de caqui, especialmente las cultivadas en España, es la astringencia del fruto en el momento de su recolección. Esta situación se ha resuelto correctamente mediante la aplicación de determinados tratamientos postcosecha (Besada et al., 2015).

En el caso de los frutos de caqui, en todas las variedades, cuando el fruto es pequeño e inmaduro siempre presenta un elevado grado de astringencia. La sensación de astringencia está ligada a su elevado contenido de taninos solubles. La cantidad de taninos solubles varía significativamente según la variedad, no solo entre las variedades astringentes y no astringentes (Martínez, 2016).

En las variedades no-astringentes el contenido en taninos solubles desciende progresivamente con el desarrollo y maduración en el árbol hasta niveles no detectables sensorialmente, permitiendo su consumo sin la necesidad de alcanzar su madurez fisiológica del fruto y sin llevar a cabo ningún tratamiento en postcosecha. Las variedades astringentes tienen un contenido elevado de taninos solubles, siendo astringentes incluso cuando han alcanzado su color y tamaño definitivos, que disminuye únicamente cuando los frutos sobremaduran y se vuelven muy blandos, momento en el que pierden por completo la astringencia y son comestibles (Besada et al., 2015; Martínez, 2016).

Los taninos solubles presentes en los frutos de caqui localizados en las vacuolas de las células denominadas "células tánicas". Cuando se consume caqui de variedades astringentes, las células tánicas de la pulpa se rompen y liberan taninos solubles, los cuales se combinan con las proteínas salivales y forman compuestos insolubles. La astringencia es causada por la disminución de la lubricación salival en la boca debido a la presencia de complejos de proteína-tanino, lo que resulta en una sensación táctil de sequedad en las superficies de la boca (Besada et al., 2015).

Los taninos son mezclas de polifenoles. En el caso del caqui, sus taninos son clasificados como proantocianidinas. Comúnmente, las proantocianidinas o taninos presentes en los caquis suelen estar en forma soluble. No obstante, cuando los frutos se desarrollan en condiciones anaerobias se produce un compuesto volátil llamado acetaldehído, el cual reaccionan con los taninos

solubles haciendo que se vuelvan insolubles mediante un proceso de polimerización (Besada et al., 2015; Matsuo y Ito, 1978; Matsuo y Ito, 1982). La polimerización de los taninos solubles dada bajo condiciones anaerobias por el acetaldehído en la respiración anaerobia, actúa como puente conectando dos proantocianidinas, causando la insolubilización y la consiguiente pérdida de la astringencia (Besada et al., 2015; Matsuo et al., 1991; Taira et al., 1997).

Existen métodos de desastringencia basados en la exposición de los frutos a condiciones anaerobias, con el objetivo de producir acetaldehído, como la aplicación de atmósferas modificadas enriquecidas con etanol, CO₂ o N₂. De entre todos ellos, se ha demostrado que el método más efectivo, más utilizado actualmente en la industria del caqui, es el de atmósferas con altas concentraciones de CO₂, ya que elimina la astringencia preservando su firmeza (Arnal y Del Río, 2003; Martínez, 2016; Yamada et al., 2002).

La eficacia de estos tratamientos y su duración en la eliminación de la astringencia depende fundamentalmente de la variedad, además de la temperatura y estado de maduración del fruto. La aplicación de CO₂ es más efectiva que los tratamientos con N₂ en algunas variedades, mientras que en otras la efectividad es mayor con N₂ (Arnal y Del Río, 2003; Besada et al., 2015).

Tradicionalmente, la variedad *Rojo Brillante* se comercializaba tras someterlo a tratamientos postcosecha de sobremaduración que, además de eliminar la astringencia, implicaban el ablandamiento de la pulpa. Esto suponía una gran dificultad de manipulación postcosecha debido a la baja firmeza del fruto, lo que limitó su expansión comercial a mercados lejanos. Esta situación cambió cuando el sector productor del caqui y el IVIA, en el año 1997, desarrollaron para la variedad *Rojo Brillante* la técnica postcosecha, que permite eliminar la astringencia con altas concentraciones de dióxido de carbono (CO₂). Dicha técnica, elimina la astringencia manteniendo la consistencia del fruto, ya que posibilita la recolección del fruto antes de su completa maduración, y comercializarlo con pulpa firme, menos cantidad de azúcares y le provee una vida comercial más larga (Perucho et al., 2015). La duración de dicho tratamiento debe ser suficiente para que se acumule el nivel de acetaldehído necesario para la posterior insolubilización de taninos, que puede continuar incluso después del tratamiento si no ha terminado si el nivel de acetaldehído acumulado es suficiente. Por otra parte, es recomendable atemperar los frutos en el almacén antes de su entrada en la cámara de CO₂ con el fin de que la temperatura de la pulpa no sea excesivamente baja y afecte negativamente a la eficacia del proceso. El periodo de atemperado debe ser corto con el fin de evitar cambios estructurales en la pulpa, que pierde su integridad estructural, pues no se trata de una temperatura óptima para su conservación, dificultando la difusión del CO₂ (Besada et al., 2015).

Mediante las investigaciones llevadas a cabo por el IVIA, se ha establecido como método estándar para reducir la astringencia del caqui *Rojo Brillante* el consistente en introducir los frutos durante 24 horas en cámaras estancas donde se inyecta un flujo de CO₂ que desplaza el aire hasta tener condiciones constantes de 95-100% de CO₂, a una temperatura de 20°C y 90% de humedad relativa (Besada et al., 2015; Martínez, 2016; Salvador et al., 2004).

1.4. LA FIBRA DIETÉTICA

La fibra dietética es la parte comestible de las plantas o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión enzimática y absorción en el intestino delgado, y en cambio, pueden fermentarse parcial o totalmente en el intestino grueso. La fibra dietética abarca polisacáridos, oligosacáridos, lignina y otras sustancias asociadas a las plantas, y ofrece beneficios fisiológicos positivos, como el estímulo de la regularidad intestinal, la reducción del colesterol en la sangre

y/o la disminución de los niveles de azúcar en la sangre (Escudero y González, 2006; Robles, 2001). Una definición más reciente, añade a la definición previa de fibra dietética el concepto nuevo de fibra funcional o añadida que incluye otros hidratos de carbono, no digeribles, absorbibles como el almidón resistente, la inulina, diversos oligosacáridos y disacáridos como la lactulosa. Hablaríamos entonces de fibra total como la suma de fibra dietética más fibra funcional (Escudero y González, 2006).

En resumen, se trata de una sustancia de origen vegetal, hidratos de carbono o derivados de los mismos que resisten la hidrólisis por los enzimas digestivos humanos y llegan intactos al colon donde algunos pueden ser hidrolizados y fermentados por la flora colónica (Escudero y González, 2006).

1.4.1. Importancia de la fibra en la dieta

La fibra dietética es un ingrediente importante en la formulación de alimentos funcionales, ya que aporta efectos beneficiosos sobre la salud: disminuye el colesterol, favorece el tránsito intestinal y los niveles glucémicos, entre otros (Dhingra et al., 2012). Las dietas de alto contenido en fibra (ricas en cereales, frutas y verduras) se asocian con la disminución de la incidencia de enfermedades asociadas con el estrés oxidativo, cardiovasculares, diabetes tipo 2 y ciertos tipos de cáncer, como por ejemplo el cáncer de colon. En la fibra dietética, ciertos tipos de fibra tienen la capacidad de generar un efecto beneficioso al estimular de manera específica el desarrollo de bacterias probióticas particulares. Estas variedades de fibra, generalmente clasificadas como fibra soluble y fermentable, incluyendo inulina, gomas, pectinas y oligosacáridos, son conocidas como prebióticos. Son compuestos no digeribles que llegan al colon y, una vez allí, proveen energía, metabolitos y micronutrientes, promoviendo el crecimiento selectivo de especies beneficiosas de la microbiota y tránsito intestinal (Bas, 2018). Los consumidores son cada vez más conscientes de la relación entre su alimentación y enfermedades crónicas graves, lo que ha generado un mayor interés en mantener una dieta saludable y equilibrada. Para muchos consumidores, la presencia de fibra en un producto es un valor agregado ya que indica que es más saludable y es un factor importante en el momento de comprarlo (Escudero y González, 2006).

Conviene destacar que, en el caso de emplear el polvo de caqui como ingrediente funcional, su contenido en fibra podría producir cambios en la consistencia, textura, comportamiento reológico y características organolépticas del producto final al que se adicionen. Además, se cree que los compuestos bioactivos (antioxidantes) también pueden conservarse después de extraer y estabilizar la fibra. Los beneficios para la salud asociados con el consumo de fibra pueden deberse en parte a estos elementos (Bas, 2018; Dhingra et al., 2012).

Es cada vez más común incorporar fibra en los productos para garantizar su consumo. Aunque aún no hay datos concluyentes, es recomendable una dieta que aporte una cantidad diaria recomendada de 20-35 g de fibra de diferentes fuentes, especialmente procedente de fruta y cereales. Además, se han realizado investigaciones recientes para mejorar la estabilidad y prolongar la vida útil de los alimentos ricos en grasas utilizando fibras dietéticas con propiedades antioxidantes (Escudero y González, 2006).

En la actualidad, las frutas y los cereales son las principales fuentes de fibra. Por consiguiente, es posible encontrar en el mercado fibras derivadas de la manzana, guisante, remolacha azucarera, soja, naranja o limón, pero no de caqui. Además de los beneficios para la salud que se asocian con la ingesta de fibra, su inclusión en los alimentos también tiene ventajas

tecnológicas, tales como mejoras en la viscosidad, textura y características sensoriales, así como un aumento en la duración de vida útil (Dhingra et al., 2012).

1.4.2. Características de la fibra soluble e insoluble

La fibra dietética se divide en insoluble y soluble según su solubilidad en el agua. Entre ellas, la insoluble contiene celulosa, hemicelulosa insoluble, lignina y quitosano, mientras que la soluble contiene pectina, gomas, hemicelulosa soluble y mucílagos (Bas, 2018; Wang et al., 2021).

Además, la fibra insoluble y soluble tienen distintas funciones fisiológicas. Concretamente, la fibra soluble desempeña una función importante en el aumento de la viscosidad, la reducción de la glucosa en sangre y la reducción del colesterol en plasma. La fibra soluble forma una dispersión en agua, la cual conlleva a la formación de geles viscosos en el tracto gastrointestinal, que tienen prioridad de retardar la evacuación gástrica, puede ser saludable en algunos casos, haciendo más eficiente la digestión y absorción de alimentos y generando mayor saciedad. Este tipo de fibra es altamente fermentable y se vincula con el metabolismo de los carbohidratos y los lípidos. Se encuentra en concentraciones elevadas en frutas y algas marinas. Por otra parte, la fibra insoluble incrementa el volumen de las heces hasta 20 veces su peso debido a su capacidad de retener agua, y se relaciona con la protección y el alivio de diversos trastornos digestivos, como el estreñimiento ya que facilita la defecación. Esta fibra no se disuelve en agua. Las fuentes de esta clase de fibra se encuentran mayormente en verduras, cereales, leguminosas y frutas (Fort, 2019; Wang et al., 2021).

1.4.3. Métodos de extracción/análisis de fibra

Actualmente, se han adoptado enfoques enzimáticos, químicos, combinaciones enzimático-químicos, asistidos por ultrasonidos y por microondas para extraer fibra dietética de distintas fuentes. Las condiciones de proceso varían y pueden afectar los componentes y características estructurales de la fibra, lo cual influye en sus actividades funcionales y fisicoquímicas (Wang et al., 2021; Zhang et al., 2017).

La función fisiológica de la fibra dietética se encuentra determinada por la estructura de su matriz fibrosa, sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, y del tamaño de las partículas. Por consiguiente, es crucial evaluar las actividades fisicoquímicas y funcionales de la fibra dietética obtenida mediante diferentes métodos de extracción (Wang et al., 2021).

Se emplearon distintos procedimientos de extracción, entre ellos, la extracción enzimática (EE), a partir del método descrito por Megazyme (2017), la extracción ácida (EAC) y la extracción alcalina (EAL), basados en el método descrito por Wang et al. (2021) para obtener fibra dietética insoluble y soluble a partir de los caquis.

1.5. FORMATOS DESHIDRATADOS DE LAS FRUTAS Y HORTALIZAS. USOS

La deshidratación se trata de una técnica utilizada principalmente para conservar alimentos, pues la eliminación del agua conlleva una reducción de la disponibilidad de esta para participar en las reacciones físicas, químicas o microbiológicas responsables del deterioro que afectan a la calidad del producto (Bas, 2018). Este proceso consiste en extraer el contenido de agua, totalmente o de forma parcial, de los alimentos en los que se encuentra. Actualmente, los productos alimenticios deshidratados representan un sector significativo en la industria de la

alimentación. La deshidratación implica una disminución significativa tanto en el peso como en el volumen del producto, lo cual reduce considerablemente los gastos asociados al transporte y almacenamiento de los alimentos deshidratados. Además, al deshidratar los alimentos, se obtienen materias primas que pueden ser empleadas para mezclar y elaborar nuevos productos (Pomar, 2018).

En la actualidad, existen diversas técnicas para deshidratar los alimentos y se utilizan habitualmente en la industria alimentaria. Las técnicas más comunes para extraer la humedad de los alimentos son la liofilización, el secado por atomización, secado a vacío y el secado por aire caliente. Cada procedimiento funciona bajo diferentes condiciones, por lo que las características fisicoquímicas del polvo de fruta varían dependiendo del método utilizado (Bas, 2018).

La liofilización conserva en mayor medida las propiedades del producto (apariencia, color, sabor, textura, etc.), reduciendo la pérdida de compuestos bioactivos, lo que conlleva una mejor calidad del producto final (Pomar, 2018). Las condiciones de vacío y temperatura de la liofilización permiten limitar las reacciones de deterioro debido a la limitación de oxígeno y a las bajas temperaturas. Sin embargo, es considerado uno de los procesos más caros para la obtención de productos deshidratados (Bas, 2018).

Los productos alimentarios en forma de polvo desempeñan un papel fundamental en la industria alimentaria, ya que ofrecen una amplia variedad de opciones en el mercado. Entre ellos se incluyen alimentos para bebés, café, infusiones, hierbas, sabores, dulces, sopas, especias, polvos vegetales, etc. Estos polvos se pueden considerar tanto como productos terminados (azúcar, sal, café, especias, leche en polvo...) así como ingredientes utilizados en la elaboración de otros productos alimenticios (frutas, huevos, leche, cereales...). Los alimentos en forma de polvo presentan numerosas ventajas, como su estabilidad fisicoquímica y microbiológica, su capacidad para mejorar las propiedades reológicas de los alimentos y añadir cualidades organolépticas. Además, son fáciles de conservar, transportar, almacenar y dosificar de manera sencilla. En los últimos años, ha surgido un creciente interés por la producción de polvos derivados de frutas y vegetales como una nueva manera de consumir estos alimentos. Estos productos, que poseen beneficios para la salud, se presentan en una forma concentrada y altamente versátil, lo que permite utilizarlos fácil y rápidamente como aditivo, condimento o ingrediente funcional en la elaboración de alimentos. La fabricación de polvos a partir de productos o subproductos de frutas puede aprovecharse de forma similar, con la ventaja adicional de transformar materiales de desecho en ingredientes funcionales estables y de gran valor añadido. Los polvos derivados de frutas y vegetales tienen diversas aplicaciones, como pueden ser las siguientes: ingredientes con compuestos bioactivos, colorantes naturales, saborizantes o conservantes, desarrollo de nuevos productos, emulsionantes, etc. (Bas, 2018).

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es evaluar y cuantificar el contenido de fibra total, soluble e insoluble del caqui obtenida por diferentes métodos. Además, se diferenciará entre caquis sometidos a un proceso de eliminación de la astringencia y caquis astringentes. Se pretende aprovechar al máximo los excedentes de producción de caqui de la variedad *Rojo Brillante*, mediante técnicas que generen nuevos formatos de consumo, como puede ser su uso como aditivo alimentario funcional, ya que esta fruta contiene numerosos componentes bioactivos,

aumentando su vida útil y sus posibilidades de incorporación en otras matrices alimentarias. Entre estos componentes se encuentra la fibra.

Además, se llevó a cabo la evaluación de las propiedades ópticas, la capacidad antioxidante y el contenido en fenoles totales del polvo de caqui del caqui liofilizado.

En relación con la contribución del presente trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la obtención de fibra alimentaria a partir de excedentes de fruta muy estacional como el caqui, puede mejorar la salud y el bienestar de la población en general (ODS 3) y en particular en la población con deficiencias nutricionales (ODS 2). Además, la revalorización de subproductos procedentes de la industria alimentaria contribuye a optimizar sus recursos (ODS 9) y al crecimiento económico del sector agrícola (ODS 8) (Ver Anexo I).

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. MATERIA PRIMA

Como materia prima se seleccionaron caquis procedentes de un mismo lote de la variedad *Rojo Brillante*, tipo Persimon de la Denominación de Origen Protegida Kaki Ribera del Xúquer, los cuales fueron proporcionados por la Cooperativa Agrícola de Catadau S. Coop. Ltda. (Valencia, España) de la campaña 2022-2023. Aunque todos los caquis pertenecían al mismo lote, se dividieron en dos lotes en función de si habían sido tratados o no. Uno de ellos fue sometido al tratamiento de eliminación de la astringencia con CO₂, obteniendo caquis no astringentes, mientras que el otro no fue sometido a tal proceso, caquis astringentes. Los caquis se conservaron a una temperatura de 10°C hasta que su posterior procesado.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

3.2.1. Nivel de astringencia

Se realizó la evaluación de la astringencia utilizando un procedimiento en el cual los taninos, en su forma soluble, reaccionan con el cloruro férrico (FeCl₃) generando un complejo iónico tanino-Fe, de color azul-negro. El grado de astringencia de los caquis se estima en función del color desarrollado en esta reacción. Para llevar a cabo este análisis, se sumergió un papel de filtro en una disolución al 5% de cloruro férrico. Luego, se analizaron varios caquis, unos proveniente de los que fueron sometidos a un proceso de eliminación de la astringencia y otros de aquellos que no fueron sometidos a dicho tratamiento. Para la evaluación de la astringencia, los caquis astringentes y no astringentes se partieron por la mitad y se pusieron en contacto con el papel de filtro impregnado con la disolución de cloruro férrico al 5% (Figura 4) (Hurtado, 2018).



Figura 4: Prueba de astringencia caqui

3.2.2. Sólidos solubles, pH y humedad

Inicialmente, se pelaron los caquis separando la piel de la pulpa, de caquis astringentes y no astringentes. A continuación, se trituró la piel y la pulpa por separado con la ayuda de un robot de cocina Thermomix, modelo Vorwerk TM31, durante 5 minutos a velocidad 5 (2.000 rpm). Del puré de caqui resultante del triturado se llevó a cabo la medición de los sólidos solubles, pH y humedad. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

Para la medición de los sólidos solubles, las muestras de puré de caqui fueron introducidas en tubos Eppendorf y se centrifugaron en una minicentrífuga, modelo Mini Spin, durante 30 minutos a 13.000 rpm para obtener un sobrenadante en fase líquida. Finalmente, mediante un refractómetro, modelo Abbe Atago NAR-3T, se midieron los °Brix del sobrenadante en fase líquida de las muestras.

El pH se midió por medio de un pH-metro, modelo SevenEasy de Mettler Toledo.

La determinación de la humedad de las muestras se realizó mediante el método gravimétrico hasta peso constante. Se pesaron en crisoles vacíos y luego con muestra húmeda. Se secaron durante 1 día a 60°C en estufa, y después se introdujeron durante 2 días en una estufa de vacío a 60°C a una presión de 0,2 mbar hasta llegar a peso constante. La humedad se determinó por diferencia de peso.

3.3. LIOFILIZACIÓN

En primer lugar, se pelaron los caquis separando la piel de la pulpa, de caquis astringentes y no astringentes. A continuación, se trituró la piel y la pulpa por separado con la ayuda de un robot de cocina Thermomix, durante 10 minutos a velocidad 5 (2.000 rpm). De esta forma, se trabajó con cuatro tipos de muestras: piel de caqui astringente (PI-A), piel de caqui no astringente (PI-NA), pulpa de caqui astringente (PU-A) y pulpa de caqui no astringente (PU-NA). Para realizar la operación de liofilizado, el puré de caqui resultante se distribuyó en bandejas metálicas formando láminas homogéneas de 4-6 mm de espesor. Después, las bandejas con las muestras se congelaron a -40°C para su posterior liofilización. Luego, se introdujeron las bandejas con las muestras congeladas en el liofilizador que trabaja a unas condiciones preestablecidas de temperatura por debajo de -40°C, aproximadamente en torno a -45°C, y una presión de (0,8 mbar), generada por una bomba de vacío, por debajo del punto triple del agua, para asegurar la eliminación por sublimación del agua del producto. El periodo de liofilización fue de 72 horas. Para la operación de liofilización se utilizó un liofilizador, modelo Telstar LyoQuest. Una vez realizada la etapa de deshidratación, la muestra seca se trituró con la ayuda de un mortero y se tamizó (50 µm) para obtener polvo de caqui. Los polvos fueron almacenados en tarros de cristal con tapas metálicas, perfectamente sellados con Parafilm y almacenados a temperatura ambiente (Bas, 2018; Pomar, 2018).

3.4. EXTRACCIÓN DE LA FIBRA DE CAQUI

La fibra de los caquis, tanto de la pulpa como de la piel de los frutos astringentes y no astringentes se extrajo mediante los métodos de extracción enzimática, ácida y alcalina. Además, se diferenció entre fibra dietética insoluble (IDF) y soluble (SDF).

3.4.1. Extracción enzimática

La extracción enzimática de la fibra de caqui se llevó a cabo mediante el método descrito por Megazyme (2017) con algunas modificaciones utilizando el kit de ensayo K-TDFR-100A de Megazyme. Este método de extracción de fibra es aplicable a granos de cereales, frutas y verduras, productos y alimentos de cereales y frutas. Inicialmente, se tomaron $0,500 \pm 0,005$ g de caqui previamente liofilizado a los que se le añadieron 40 mL de la disolución tampón MES-TRIS (pH 8,2) previamente preparada según el procedimiento del ensayo. La mezcla se agitó hasta homogenizarla. A continuación, se incorporó 50 μ L de la disolución α -amilasa manteniendo la mezcla a 98-100 °C durante 30 minutos con agitación continua para gelatinizar, hidrolizar y despolimerizar el almidón. Después se dejó enfriar a 60°C y se añadieron 100 μ L de disolución de proteasa manteniéndolo a esta temperatura durante 30 minutos con el fin de solubilizar y despolimerizar las proteínas. Luego, se adicionaron 5 mL de HCl 0,561 N y se agitó comprobando que el pH se mantuviera entre 4,1 y 4,8, ajustándolo con NaOH al 5 % o con HCl al 5 %. A continuación, se añadieron 200 μ L de disolución de amiloglucosidasa con agitación continua a 60 °C durante 30 min para hidrolizar fragmentos de almidón a glucosa.

3.4.2. Extracción ácida y alcalina

La extracción ácida y alcalina de la fibra de caqui se llevó a cabo mediante el método descrito por (Wang et al., 2021) con algunas modificaciones. Este método se realiza para la extracción de la fibra dietética del kiwi, siendo adaptable y aplicable a otras frutas como el caqui. En primer lugar, se mezcló la muestra de caqui previamente liofilizado con etanol al 85%, en una proporción 1:5 (p/v), durante 48 horas en agitación continua a temperatura ambiente con el objetivo de eliminar el azúcar libre. Pasadas 48 horas, se filtró la mezcla de muestra y etanol 85% mediante un papel de filtro y un embudo, enjuagándose dos veces con etanol al 96%. A continuación, se secó durante 12 horas en estufa a 40°C. Después se molió y tamizó (50 μ m) la muestra seca para obtener polvo de caqui. Para la extracción ácida se usó ácido cítrico al 1% (p/v) y para la extracción alcalina se usó hidróxido de sodio (NaOH) al 5% (p/v) para extraer los extractos IDF y SDF. Luego, el polvo de caqui se mezcló con ácido cítrico al 1%, para la extracción ácida, o con NaOH al 5%, para la extracción alcalina, en una proporción de 1:40 (p/v). La mezcla se realizó en tubos de centrifuga los cuales se agitaron en un vortex para su homogeneización, y se introdujeron durante 2 horas en un baño de agua a 40°C. A continuación, se centrifugó en una centrifuga, modelo 5804 R, durante 15 minutos a 11.000 rpm las soluciones ácida y alcalina resultantes, y se recogió el residuo (IDF) y el sobrenadante (SDF).

3.5. CUANTIFICACIÓN DE LA FIBRA DIETÉTICA SOLUBLE E INSOLUBLE

3.5.1. Cuantificación de la fibra dietética extraída por el método enzimático

Para separar la fibra insoluble (IDF) de la fibra soluble (SDF) de la mezcla extraída por el método enzimático, esta se sometió a un filtrado a vacío, llevado a cabo mediante una bomba de vacío, modelo LBX V10 series, con un crisol con lecho de Celite. Tras el filtrado, el residuo se lavó dos veces con 10 mL de agua destilada precalentada a 70°C. El filtrado obtenido contiene la fibra soluble (SDF) mientras que el residuo es la fibra insoluble (IDF). El residuo se volvió a lavar con 10 mL de etanol al 95 % y 10 mL de acetona. A continuación, el residuo se secó en una estufa a 103°C durante 12 horas. Después se determinaron las cenizas incinerando este residuo en una

mufla a 525°C durante 5 horas. Por diferencia de peso, se determinó la cantidad de fibra insoluble. Por otra parte, el filtrado obtenido se pesó y ajustó a 80 g con agua destilada. A continuación, se agregó etanol al 95% hasta obtener una mezcla 1:4 (p/v) con el fin de precipitar la fibra soluble y eliminar la proteína y la glucosa despolimerizadas y se dejó reposar durante 60 minutos. Después, se filtró a vacío con un crisol con lecho de Celite. Tras el filtrado, el residuo se lavó primero con etanol al 78%, luego con etanol al 95% y, por último, con acetona. El residuo se secó en estufa a 103°C durante 12 horas. Finalmente, se determinaron las cenizas incinerando este residuo en una mufla a 525°C durante 5 horas. Por diferencia de peso, se determinó la cantidad de fibra soluble (Megazyme, 2017).

El análisis del % de fibra dietética se realizó por triplicado para cada muestra, y para obtener un valor de % de fibra dietética los ensayos se realizaron por duplicado, es decir, partiendo de dos muestras (m_1 y m_2). Los cálculos de la cantidad de fibra dietética (%) se realizaron según la Ecuación 1 (Megazyme, 2017).

$$Fibra\ dietética\ (\%) = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} - A - B}{\frac{m_1 + m_2}{2}} \times 100 \quad Ecuación\ 1$$

Donde:

- R_1 = Peso residuo 1 de la muestra 1 (m_1).
- R_2 = Peso residuo 2 de la muestra 2 (m_2).
- m_1 = Peso de la muestra 1.
- m_2 = Peso de la muestra 2.
- A = Media peso ceniza de R_1 y R_2 .
- B = Peso del blanco.

Para realizar el cálculo de todas las medidas del porcentaje de fibra dietética de las muestras, se llevó a cabo la medida de un blanco siguiendo toda la metodología de extracción, pero sin incorporar la muestra de caqui, para determinar peso del residuo de las enzimas. Los cálculos de peso del residuo de enzimas de los blancos se llevaron a cabo mediante la Ecuación 2.

$$B = \text{Peso del blanco} = \frac{BR_1 + BR_2}{2} - BA \quad Ecuación\ 2$$

Donde:

- BR_1 = Peso residuo 1 del blanco 1.
- BR_2 = Peso residuo 2 del blanco 2.
- BA = Media peso ceniza de BR_1 y BR_2 .

3.5.2. Cuantificación de la fibra dietética extraída por los métodos ácido y alcalino

Para separar la fibra insoluble (IDF) de la fibra soluble (SDF) de la mezcla extraída por los métodos ácido y alcalino se llevó a cabo un proceso de filtrado. Inicialmente, se extrajo el residuo de los tubos de centrifuga y se colocó sobre un papel de filtro pesado previamente. A continuación, con la ayuda de agua destilada, se extrajeron todos los restos de residuo de los tubos de centrifuga y se enjuagó dos veces el residuo sobre el filtro. El residuo se secó en estufa a 60°C durante 12 horas. Por diferencia de peso, se determinó la cantidad de fibra insoluble. Por otra parte, el sobrenadante extraído de los tubos de centrifuga se recogió en un vaso de precipitados, pesado previamente. Luego, se añadió un volumen de etanol al 96% cuatro veces el del sobrenadante y se dejó incubar durante 2 horas a temperatura ambiente con el fin de que se formase un precipitado. Después, se separó la parte líquida del precipitado o residuo y se realizó un lavado del residuo con etanol al 96 %. Finalmente, el residuo se secó en estufa a 60°C durante 12 horas. Por diferencia de peso, se determinó la cantidad de fibra soluble (Wang et al., 2021).

El análisis del % de fibra dietética se realizó por triplicado para cada muestra. Los cálculos de la cantidad de fibra dietética (%) se realizaron según la Ecuación 3 (Wang et al., 2021).

$$Fibra\ dietética\ (\%) = \frac{R}{MCL} \times 100 \quad Ecuación\ 3$$

Donde:

- R = Peso residuo muestra de IDF o SDF.
- MCL = Peso muestra de caqui liofilizado.

3.6. PROPIEDADES ÓPTICAS

Se realizó la medida del color de las muestras liofilizadas, es decir del polvo de caqui, de la piel y pulpa por separado, de los caquis astringentes y no astringentes. El análisis de las propiedades ópticas se realizó por sextuplicado para cada muestra.

Para el análisis del color de las muestras de caqui, se utilizó un espectrocolorímetro de sobremesa, modelo Minolta Spectrophotometer CM – 3600d. Se midió la reflectancia con la energía UV excluida, obteniendo el espectro de reflexión de las muestras. Se obtuvieron los valores de las coordenadas de color CIE L*a*b* utilizando como referencia el observador 10⁰ e iluminante D65. Se utilizó un área de medida pequeña, el componente especular (SCI), la energía UV incluida y un destello por medición (Hurtado, 2018).

El espacio de color CIE L*a*b* (CIELAB), es un sistema cartesiano formado por 3 ejes: un eje vertical (L*) que representa la medida de luminosidad de un color, variando desde el 0 para un negro hasta el 100 para un blanco, a* es uno de los ejes horizontales y representa la medida del contenido de rojo o de verde de un color. El otro eje horizontal es b*, indica los colores amarillo y azul (Hurtado, 2018).

3.7. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Se realizó la determinación de la capacidad antioxidante de las muestras de caqui liofilizado, tanto de caquis astringentes como no astringentes, de la pulpa y de la piel por separado.

Para evaluar la capacidad antioxidante de las muestras de caqui se llevó a cabo el método descrito por Martínez-Las Heras et al. (2016) con algunas adaptaciones. Se trata del método DPPH, basado en la capacidad de los antioxidantes para captar radicales libres. El DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidracilo) es un radical libre que puede reaccionar directamente con los antioxidantes y ser bloqueado por estos.

Inicialmente, se preparó la disolución en metanol (80:20) de DPPH con una concentración de 0,13 g/L. Como blanco, en una cubeta se mezclaron 0,8 mL de la disolución de DPPH y 2 mL de la disolución de metanol 80:20 y se midió la absorbancia a 515 nm, comprobando que su valor era próximo a 0,8.

En la realización del análisis de la capacidad antioxidante de las muestras, se tomaron 3 g de caqui previamente liofilizado a los que se le añadieron 10 ml de metanol 80:20. La mezcla se agitó hasta homogenizarla con un Ultra-Turrax, modelo IKA T10 basic. Luego se pasó la mezcla a tubos Eppendorf y se centrifugó en una minicentrífuga, modelo Mini Spin, a 6.000 rpm durante 5 minutos a temperatura ambiente. A continuación, se añadieron 2 mL de metanol 80:20, 0,1 mL del sobrenadante de la mezcla muestra-metanol y 0,8 mL de DPPH sobre cubetas de plástico. Seguidamente, se homogeneizó la mezcla y se dejó reposar durante 30 minutos en oscuridad. Finalmente, se midió la absorbancia a 515 nm con un espectrofotómetro, modelo Thermo Scientific Helios Zeta UV-Vis (Martínez-Las Heras et al., 2016).

El análisis de la capacidad antioxidante se realizó por triplicado para cada muestra. Los resultados se expresaron en % DPPH inhibido según la Ecuación 4.

$$\% \text{ DPPH inhibido} = \frac{(Abs_{control} - Abs_{muestra})}{Abs_{control}} \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- $Abs_{control}$ = Absorbancia del DPPH a 515 nm antes de la adición de la muestra.
- $Abs_{muestra}$ = Absorbancia de la muestra a 515 nm transcurridos 30 minutos.

La medición del % de DPPH inhibido se comparó con una recta estándar de calibrado de Trolox (Figura 5) y se expresó como mg de Trolox por 100 g de caqui (Martínez-Las Heras et al., 2014).

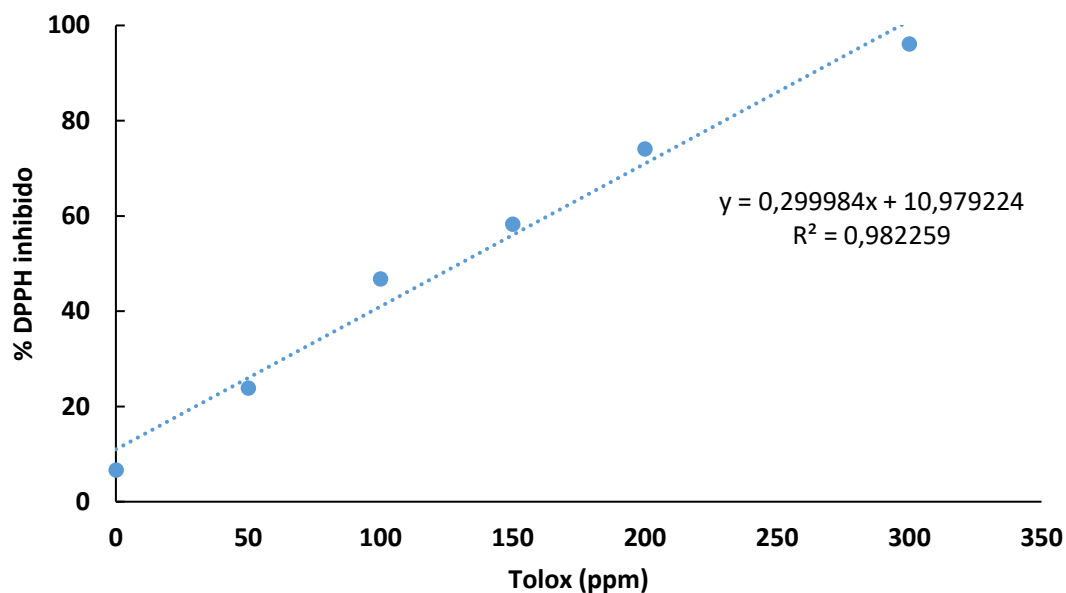


Figura 5: Recta de calibrado de Trolox.

3.8. FENOLES TOTALES

Se realizó la determinación de fenoles totales de las muestras de caqui en fresco y liofilizado, tanto de los caquis astringentes como de los no astringentes, de la pulpa y de la piel por separado. Dicha determinación se llevó a cabo mediante el análisis del método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, el cual se emplea como medida del contenido en compuestos fenólicos totales en productos vegetales. Esta medida se basa en la reducción del reactivo Folin-Ciocalteu por los fenoles totales en una disolución alcalina, es decir a pH básico, dando lugar a una coloración azul, por oxidación de los polifenoles, susceptible de ser determinada espectrofotométricamente, cuya intensidad es la que medimos para evaluar el contenido en polifenoles (García et al., 2015). Para este análisis se tomaron 3 g de caqui previamente liofilizado a los que se le añadieron 10 mL de metanol 80:20. La mezcla se agitó hasta homogenizarla con un Ultra-Turrax, modelo IKA T10 Basic. A continuación, se pasó la mezcla a tubos Eppendorf y se centrifugó en una minicentrífuga, modelo Mini Spin, a 10.000 rpm durante 15 minutos a temperatura ambiente. Después se añadieron 0,250 mL de sobrenadante de la mezcla muestra-metanol, 15 mL de agua destilada y 1,25 mL del reactivo Folin-Ciocalteu en un matraz aforado de 25 mL. Seguidamente, se homogeneizó la mezcla y se dejó reposar durante 8 minutos en oscuridad. Pasado ese tiempo, se adicionaron 3,75 mL de la disolución de Na₂CO₃ (carbonato sódico) elaborado al 7,5% a cada matraz y se aforaron con agua destilada. Luego, se homogeneizó de nuevo la mezcla y se dejó reposar durante 2 horas en oscuridad. Finalmente, se midió la absorbancia a 765 nm con un espectrofotómetro, modelo Thermo Scientific Helios Zeta UV-Vis.

Para cuantificar los fenoles totales presentes en las muestras de caqui se comparó la medición de las absorbancias de las muestras con una recta de calibrado de ácido gálico a diferentes concentraciones (Figura 6), y se expresó como mg de ácido gálico por 100 g de caqui. Esto se debe a que en estudios previos se ha demostrado que el ácido gálico es el componente principal dentro de los fenoles que se encuentran en fuentes naturales como frutas y verduras (Chen et al., 2008).

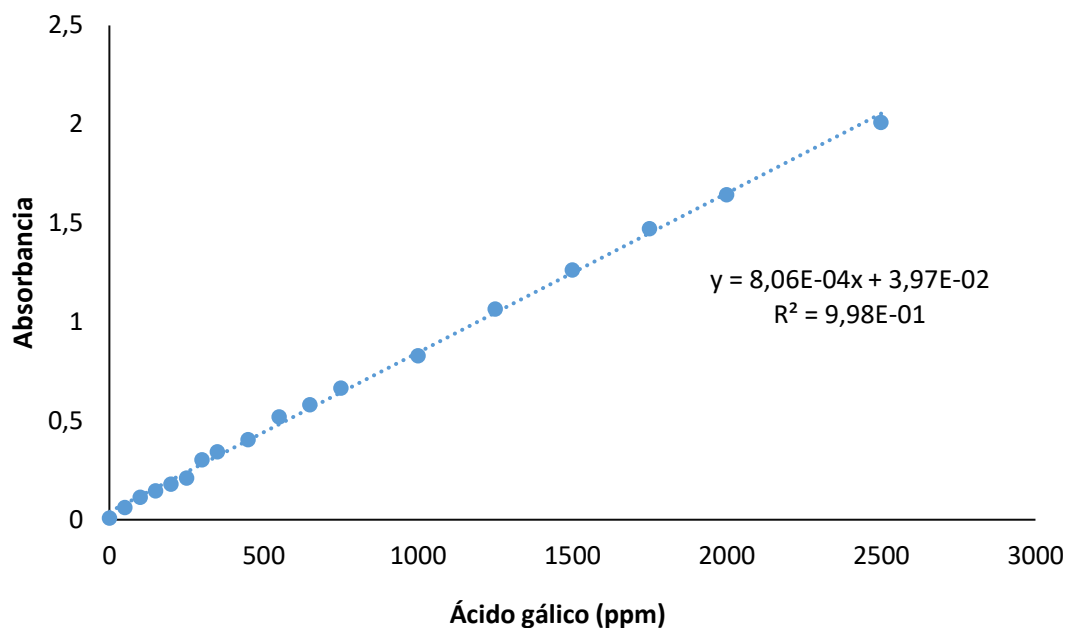


Figura 6: Recta de calibrado de ácido gálico.

3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico para evaluar el efecto de los factores estudiados sobre las diferentes variables analizadas, se llevó a cabo un ANOVA multifactorial mediante el software Statgraphics Centurion XVIII.

4. RESULTADOS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

4.1. NIVEL DE ASTRINGENCIA

La aparición de un tono azul o negro confirma la existencia de taninos en las muestras, es decir, cuando los caquis son astringentes (Figura 7). Por el contrario, cuando no aparece dicha coloración, es debido a que los taninos están insolubilizados, y se trata de caquis no astringentes (Figura 7) (Hurtado, 2018).

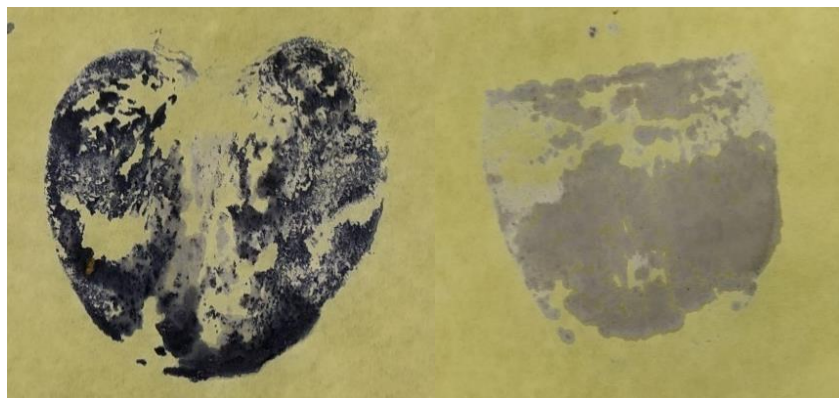


Figura 7: Caqui astringente (izquierda) y caqui no astringente (derecha).

4.2. SÓLIDOS SOLUBLES, pH Y HUMEDAD

En la Figura 8 se representan los resultados obtenidos del análisis de los sólidos solubles, °Brix, de la pulpa de caquis frescos astringentes y no astringentes. Los caquis astringentes muestran más °Brix porque dentro de los sólidos solubles se encuentran los taninos, mientras que, en los no astringentes, al haberse insolubilizado los taninos, los °Brix se reducen a pesar de ser frutos del mismo lote.

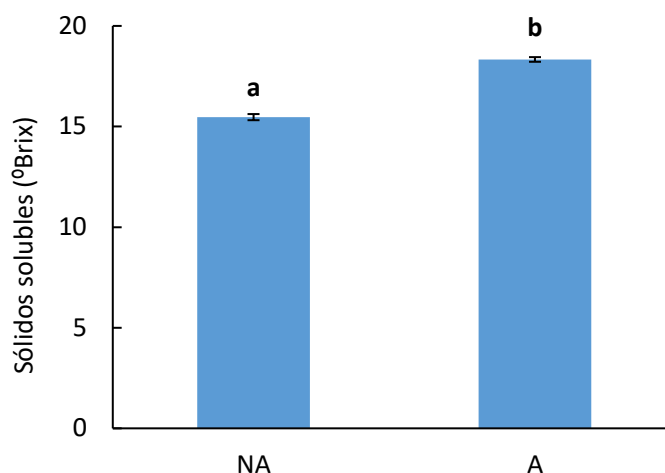


Figura 8: Contenido en sólidos solubles de los caquis frescos no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

En la Figura 9 se reflejan los resultados obtenidos del análisis del pH de la pulpa de caquis frescos astringentes y no astringentes. Los caquis no astringentes muestran un pH ligeramente superior que los astringentes.

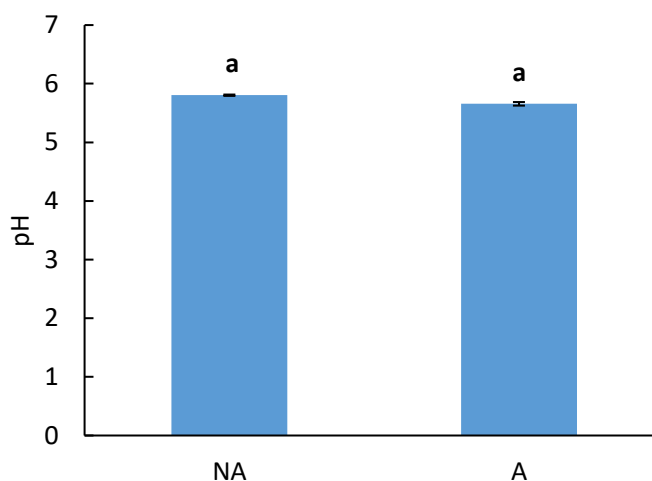


Figura 9: pH de los caquis frescos no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

En la Figura 10 se muestran los resultados correspondientes a la humedad de la pulpa de caquis frescos astringentes y no astringentes. Los resultados indican que no hay diferencias significativas entre la humedad de los caquis astringentes y no astringentes, por lo que el tratamiento de desastringencia no afecta al contenido en agua de la materia prima.

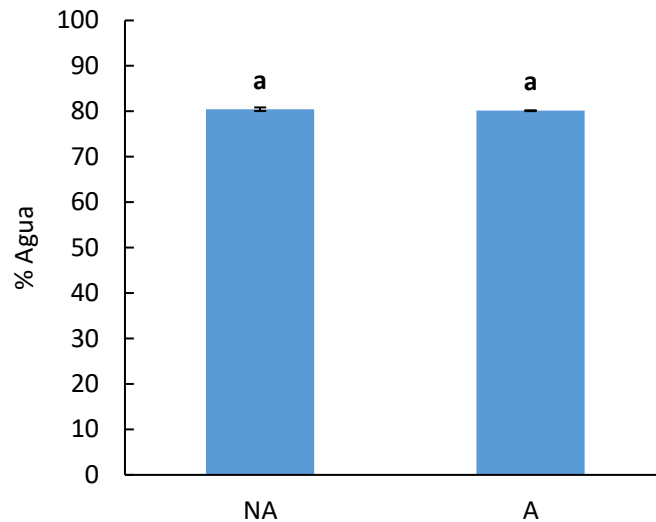


Figura 10: Contenido en agua (%) de los caquis frescos no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

4.3. CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE CAQUI

En la Figura 11 y en la Figura 12 se presentan los resultados del porcentaje de fibra soluble e insoluble tanto en la piel como en la pulpa, respectivamente, de las muestras de caqui extraídas por los métodos de extracción enzimática, ácida y alcalina. Como cabía esperar, el contenido en fibra total de la piel fue superior al de pulpa. Además, en la piel, el método de extracción influye en la cantidad total registrada, siendo los métodos enzimático y ácido con los que más fibra se extrae, obteniendo cantidades similares en ambos casos, y el método alcalino con el que menos fibra se extrae. En el caso de la pulpa, no parece haber diferencias en la fibra total obtenida en función del método de extracción utilizado. Por otro lado, en ambas fracciones del fruto la extracción ácida dio lugar a valores de fibra insoluble superiores a los de los otros métodos, mientras que con la extracción alcalina sucedió lo contrario, registrándose mayor contenido en fibra soluble a los de los otros métodos. Estos resultados concuerdan con los reportados por Wang et al. (2021), poniendo de manifiesto las limitaciones de la extracción ácida para registrar fibra soluble, y la sobreestimación de la fibra soluble en la extracción alcalina.

Respecto al método de extracción alcalina parece que no provoca la rotura de los enlaces glucosídicos y por tanto aumenta la fracción de fibra soluble (Karra et al., 2020). Por otra parte, según Wang et al. (2021), este resultado puede ser debido a que la extracción alcalina destruyó la pared celular más a fondo, y la disolución alcalina disolvió parcialmente la hemicelulosa de la fibra insoluble y convirtió dicha cantidad de fibra insoluble en fibra soluble. Este método parece resultar menos fiable por sobrevalorar la fibra soluble e infravalorar la insoluble.

El contenido en fibra insoluble extraída es mayor por los métodos enzimático y ácido, destacando significativamente la extracción ácida. Esto estaría relacionado con la concentración excesiva de ácido, que hace que la fibra soluble se hidrolice en oligosacáridos y monosacáridos de bajo peso molecular durante el proceso de extracción (Wang et al., 2021). La extracción enzimática tuvo un rendimiento de extracción de fibra insoluble y soluble ligeramente inferior a la extracción ácida en el caso de la piel, e intermedio entre la ácida y alcalina en el caso de la pulpa.

Por tanto, se recomendaría aplicar el método enzimático para la determinación de fibra de caqui si el objetivo es diferenciar con cierta precisión la cantidad de fibra soluble e insoluble, y el método ácido si sólo se pretende conocer el valor de la fibra total por ser más económico.

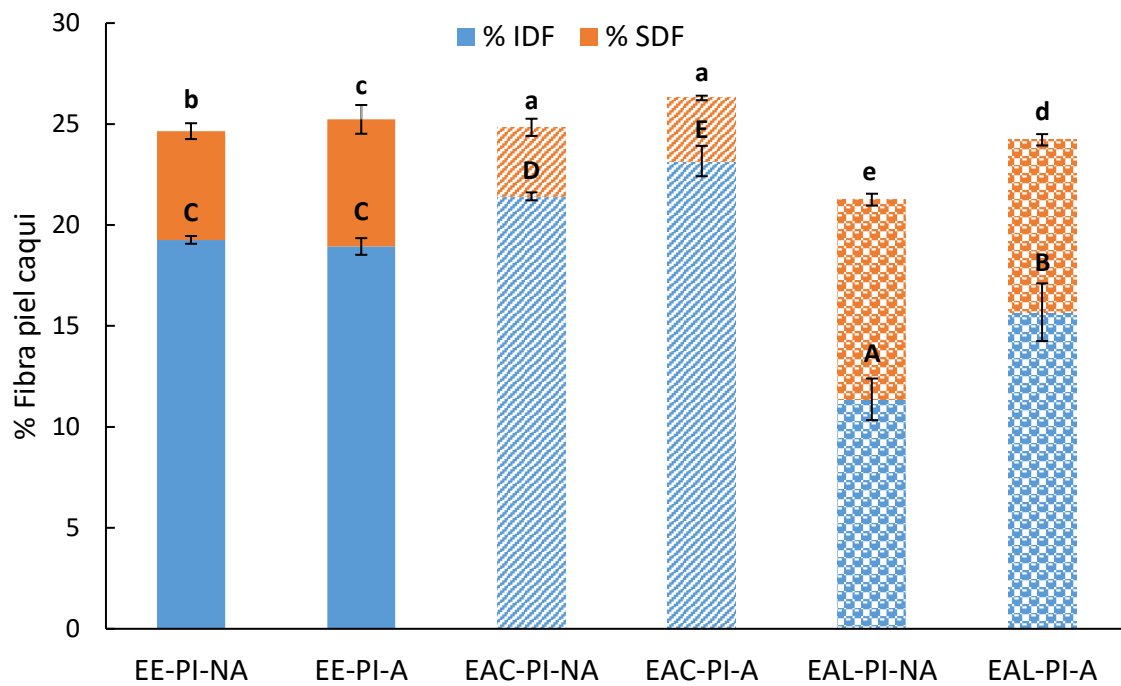


Figura 11: % de fibra de la piel (PI) de caqui liofilizado, por los métodos de extracción enzimático (EE), ácido (EAC) y alcalino (EAL), de caquis no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

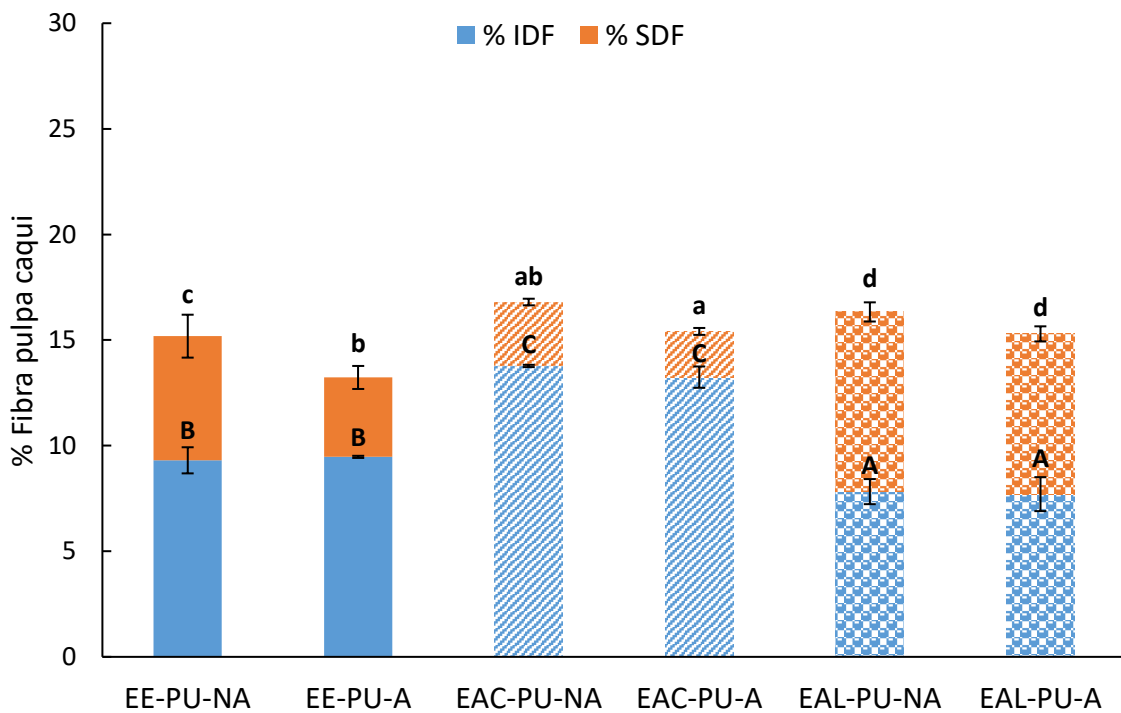


Figura 12: % de fibra de la pulpa (PU) de caqui liofilizado, por los métodos de extracción enzimático (EE), ácido (EAC) y alcalino (EAL), de caquis no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

4.4. PROPIEDADES ÓPTICAS

En la Figura 13 se presentan los resultados de luminosidad (L^*) de las muestras de polvo de caqui (caqui liofilizado) que fueron muy similares en todos los casos.

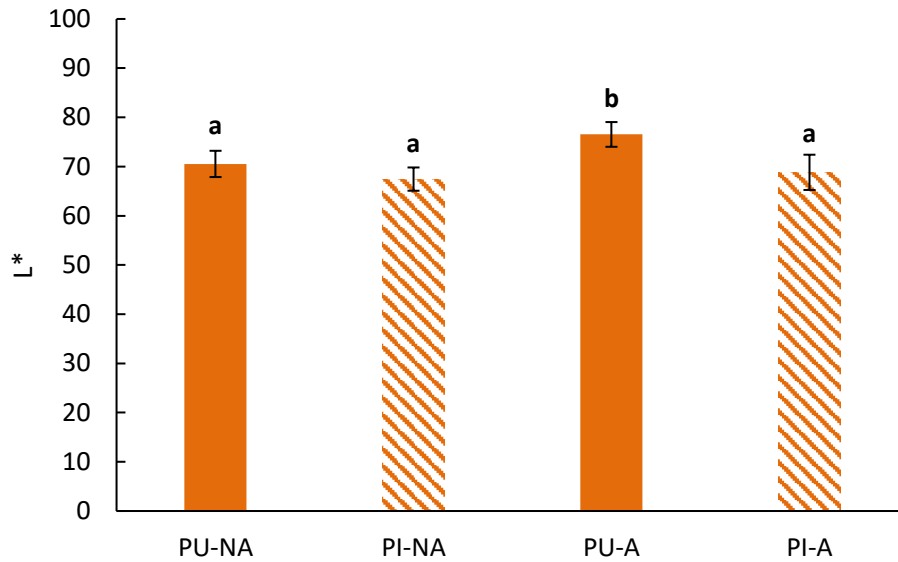


Figura 13: Luminosidad del polvo de caqui liofilizado obtenido de la pulpa (PU) y de la piel (PI), de caquis no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

En la Figura 14 se muestra la ubicación en el plano cromático de las coordenadas a^* y b^* de color de las muestras de polvo de caqui. En coherencia con las diferencias de color entre la piel y la pulpa de la materia prima, la intensidad de coordenada a^* en el caqui liofilizado procedente de la piel es mayor que el de la pulpa, mientras que la coordenada b^* es igual en ambos casos.

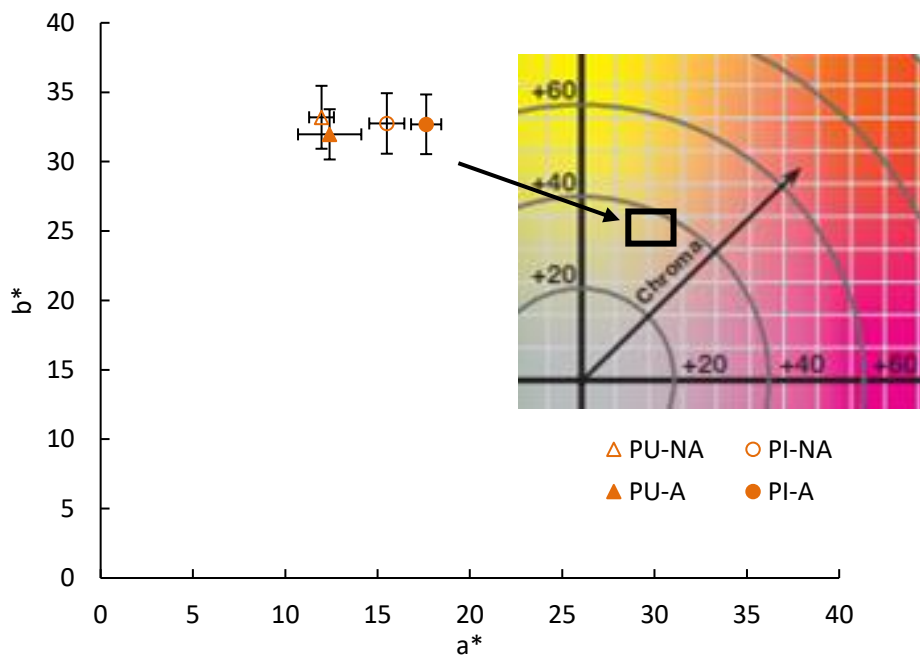


Figura 14: Ubicación en el plano cromático a^* b^* del color de las muestras de caqui liofilizado obtenido de la pulpa (PU) y de la piel (PI), de caquis no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

A continuación, se presenta el aspecto que tenían los diferentes liofilizados de caqui (Figura 15). Se puede comprobar que la coloración del liofilizado de piel es ligeramente más rojiza evidenciando el mayor de la coordenada a*.

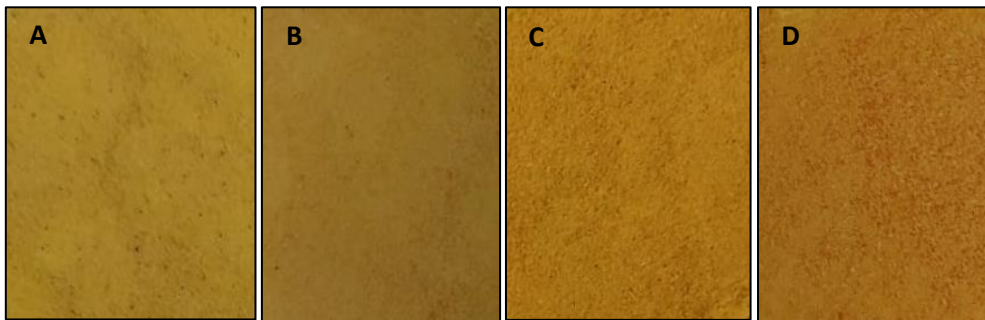


Figura 15: Color polvo de caqui liofilizado de la pulpa no astringente (A), pulpa astringente (B), piel no astringente (C) y piel astringente (D).

4.5. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

La Figura 16 presenta los resultados de la capacidad antioxidante de las muestras de caqui liofilizado astringentes y no astringentes. Los resultados indican que el tratamiento postcosecha para eliminar la astringencia aumenta significativamente la capacidad antioxidante de las muestras. Por otra parte, la piel, en ambos casos, presenta una mayor capacidad antioxidante que la pulpa como se ha reportado en estudios realizados en caqui y en otras frutas (Corona et al., 2020; Gorinstein et al., 1998).

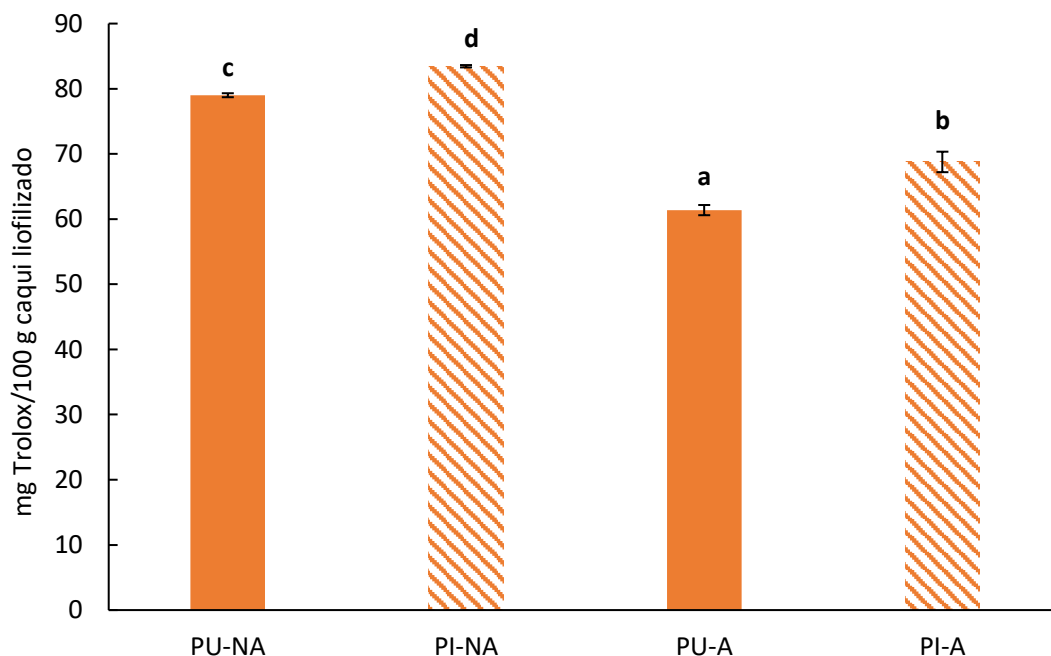


Figura 16: Capacidad antioxidante de las muestras de caqui liofilizado obtenido de la pulpa (PU) y de la piel (PI), de caquis no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

4.6. FENOLES TOTALES

La Figura 17 presenta los resultados de los fenoles totales de las muestras de caqui fresco y liofilizado. Los resultados indican que el tratamiento postcosecha para eliminar la astringencia reduce significativamente el contenido en fenoles totales de las muestras. Respecto al producto fresco, la pulpa es mucho más rica en fenoles totales que la piel de caqui cuando se trata de un producto astringente. Sin embargo, una vez se somete el producto entero al tratamiento de eliminación de la astringencia, la pulpa disminuye en mayor medida el contenido en fenoles totales en comparación a lo que le sucede a la piel que disminuye ligeramente su valor. Por otro lado, en lo que al producto liofilizado se refiere, al concentrarse toda la fracción de sólidos solubles por el tratamiento, el valor de los taninos solubles aumenta respecto al producto fresco, por lo que el caqui liofilizado presenta más fenoles totales que el caqui fresco, como se ha reportado en otros estudios realizados en caqui (Bas, 2018; Pomar, 2018). En estos liofilizados, tanto la piel como la pulpa del caqui astringente presentaron valores de fenoles totales muy superiores a los de ambas partes de los caquis no astringentes. Además, la pulpa es ligeramente más rica en fenoles totales que la piel de caqui cuando se trata del producto astringente a diferencia de lo que ocurre en los no astringentes. Otro aspecto a tener en cuenta es que la disminución de los fenoles totales es mayor en la pulpa que en la piel, independientemente de que se trate del producto fresco o liofilizado, cuando se somete al proceso de eliminación de la astringencia.

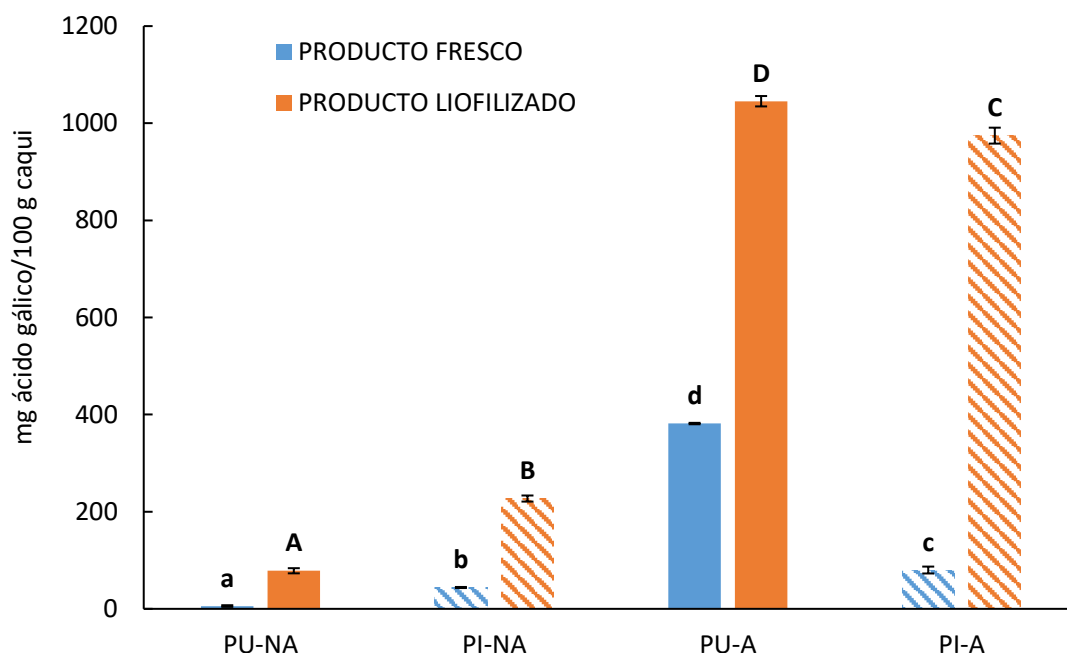


Figura 17: Contenido en fenoles totales del caqui fresco y liofilizado obtenido de la pulpa (PU) y de la piel (PI), de caquis no astringentes (NA) y astringentes (A). Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%. Letras iguales indican grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

5. CONCLUSIONES

La liofilización, tanto de la piel como de la pulpa, de caqui procedente de los excedentes de producción y de los residuos de la industria, genera productos estables en formato polvo que son una fuente importante de fibra para incorporar en diferentes matrices alimentarias, mejorando también su capacidad antioxidante. El tratamiento de eliminación de la astringencia no es un factor relevante en la obtención de fibra, pues se obtuvieron cantidades similares en los caquis astringentes y no astringentes. Respecto a los métodos de extracción de fibra de caqui, se recomendaría aplicar el enzimático si se quiere diferenciar con cierta precisión la cantidad de fibra soluble e insoluble y, el método de extracción ácida si se pretende extraer la fibra total, por ser el más económico. Por otra parte, en ambos casos, la fibra insoluble supera a la soluble en todos los caquis. El método de extracción alcalina parece ser el menos preciso por sobrevalorar el contenido de fibra soluble e infravalorar el de fibra insoluble.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alberca, R., Hernando, I., Gemma, B., & Martínez, C. (2018). *Valorización del destrío postcosecha de caqui mediante el desarrollo de un producto de alto valor nutritivo natural*. [Thesis degree]. Universitat Politècnica de València.
- Arnal, L., & Del Río, M. A. (2003). Removing astringency by carbon dioxide and nitrogen-enriched atmospheres in persimmon fruit cv. "Rojo brillante." *Journal of Food Science*, 68(4), 1516–1518. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb09676.x>
- Bas, C. I. (2018). *Caracterización de polvos de residuo de caqui deshidratado para su uso como ingrediente funcional en alimentos* [Thesis degree]. Universitat Politècnica de València.
- Besada, C., Navarro, P., Vendrell, M., & Salvador, A. (2015). *El cultivo del caqui* (M. L. Badenes, D. Intrigliolo, A. Salvador, & A. Vicent, Eds.). Generalitat Valenciana, IVIA. <https://redivia.gva.es/handle/20.500.11939/7599>
- Chen, X. N., Fan, J. F., Yue, X., Wu, X. R., & Li, L. T. (2008). Radical scavenging activity and phenolic compounds in persimmon (*Diospyros kaki* L. cv. Mopan). *Journal of Food Science*, 73(1), 24–28. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00587.x>
- Corona, L. S., Hernández, D. M., & Meza, O. G. (2020). Análisis de parámetros fisicoquímicos, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en piel, pulpa y fruto entero de cinco cultivares de manzana (*Malus domestica*) cosechadas en México. *Biotecnia*, 22, 166–174. <http://biotecnia.unison.mx>
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255–266. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>
- DOP Kaki Ribera Del Xúquer. (2023). *El Kaki Persimon D.O.P. Ribera del Xúquer*. <https://persimon.eu/>
- Escudero, E., & González, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21, 61–72.

- FAO. (2023). *Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Statistical Database*. <https://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Fort, S. (2019). *Potencialidad de la fibra de caqui como ingrediente funcional en masas de galletas* [Thesis degree]. Universitat Politècnica de València.
- García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2015). *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu*. Universitat Politècnica de València. <https://riUNET.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/Garcia%20Mart%C3%ADnez%20et%20al.pdf?sequence=1>
- Gorinstein, S., Kulasek, G. W., Bartnikowska, E., Leontowicz, M., Zemser, M., Morawiec, M., & Trakhtenberg, S. (1998). The influence of persimmon peel and persimmon pulp on the lipid metabolism and antioxidant activity of rats fed cholesterol. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 9(4), 223–227.
- Hurtado, T. (2018). *Influencia de la incorporación de fibra de caqui sobre las propiedades fisicoquímicas de galletas* [Thesis degree]. Universitat Politècnica de València.
- Karra, S., Sebi, H., Yaich, H., Bouaziz, M. A., Blecker, C., Danthine, S., Attia, H., & Besbes, S. (2020). Effect of extraction methods on the physicochemical, structural, functional, and antioxidant properties of the dietary fiber concentrates from male date palm flowers. *Journal of Food Biochemistry*, 44(6), 1–12. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13202>
- Llácer, G., & Badenes, L. (2002). Situación actual de la producción de caqui en el mundo. *Agrícola Vegal: Fruticultura, Horticultura, Floricultura* (242), 64–71.
- Martínez, R. (2016). *Valorización del cultivo del caqui* [Thesis degree]. Universitat Politècnica de València.
- Martínez-Las Heras, R., Amigo-Sánchez, J. C., Heredia, A., Castelló, M. L., & Andrés, A. (2016). Influence of preharvest treatments to reduce the seasonality of persimmon production on color, texture and antioxidant properties during storage. *CYTA - Journal of Food*, 14(2), 333–339. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1113204>
- Martínez-Las Heras, R., Heredia, A., Castelló, M. L., & Andrés, A. (2014). Influence of drying method and extraction variables on the antioxidant properties of persimmon leaves. *Food Bioscience*, 6, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2014.01.002>
- Matsuo, T., & Ito, S. (1978). The chemical structure of kaki-tannin from immature fruit of the persimmon (*Diospyros kaki* L.). *Agricultural and Biological Chemistry*, 42(9), 1637–1643. <https://doi.org/10.1080/00021369.1978.10863225>
- Matsuo, T., & Ito, S. (1982). A model experiment for de-astringency of persimmon fruit with high carbon dioxide treatment: In vitro gelation of kaki-tannin by reacting with acetaldehyde. *Agricultural and Biological Chemistry*, 46(3), 683–689. <https://doi.org/10.1080/00021369.1982.10865131>
- Matsuo, T., Ito, S., & Ben-Arie, R. (1991). A Model Experiment for Elucidating the Mechanism of Astringency Removal in Persimmon Fruit Using Respiration Inhibitors. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 60(2), 437–442.
- Megazyme. (2017). *Total dietary fiber assay procedure*. www.megazyme.com

- Perucho, R., Giordani, E., Picardi, E., Radice, S., & Badenes, M. (2015). *El cultivo del caqui* (M. L. Badenes, D. Intrigliolo, A. Salvador, & A. Vicent, Eds.). Generalitat Valenciana, IVIA. <https://redivia.gva.es/handle/20.500.11939/7599>
- Pomar, D. (2018). *Estudio de la deshidratación de subproductos de caqui para la obtención de productos en polvo. Propuesta de diseño de un secador continuo* [Thesis degree]. Universitat Politècnica de València.
- Robles, S. (2001). ¿Qué es la fibra dietética? *Repositorio Científico Del Instituto Nacional de Salud (INS)*, 13–14.
- Salvador, A., Arnal, L., Monterde, A., & Cuquerella, J. (2004). Reduction of chilling injury symptoms in persimmon fruit cv. “Rojo Brillante” by 1-MCP. *Postharvest Biology and Technology*, 33(3), 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.03.005>
- Taira, S., Ono, M., & Matsumoto, N. (1997). Reduction of persimmon astringency by complex formation between pectin and tannins. *Postharvest Biology and Technology*, 12, 265–271.
- Wang, K., Li, M., Wang, Y., Liu, Z., & Ni, Y. (2021). Effects of extraction methods on the structural characteristics and functional properties of dietary fiber extracted from kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Food Hydrocolloids*, 110, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2020.106162>
- Yamada, M., Taira, S., Ohtsuki, M., Sato, A., Iwanami, H., Yakushiji, H., Wang, R., Yang, Y., Li, G., & Yamada, M. (2002). Varietal differences in the ease of astringency removal by carbon dioxide gas and ethanol vapor treatments among Oriental astringent persimmons of Japanese and Chinese origin. *Scientia Horticulturae* 94, 63–72.
- Zhang, W., Zeng, G., Pan, Y., Chen, W., Huang, W., Chen, H., & Li, Y. (2017). Properties of soluble dietary fiber-polysaccharide from papaya peel obtained through alkaline or ultrasound-assisted alkaline extraction. *Carbohydrate Polymers*, 172, 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.05.030>

7. ANEXOS

7.1. ANEXO I. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

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

Objetivos de Desarrollo Sostenible	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

La obtención de fibra alimentaria a partir de excedentes de fruta muy estacional como el caqui, puede contribuir a mejorar la salud y el bienestar de la población en general (ODS 3) y en particular en la población con deficiencias nutricionales (ODS 2). Además, la revalorización de subproductos procedentes de la industria alimentaria contribuye a optimizar sus recursos (ODS 9) y al crecimiento económico del sector agrícola (ODS 8).