



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agrònoma i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

Caracterización de nuevas variedades de mandarinas
pigmentadas.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

AUTOR/A: López Gallego, Laura

Tutor/a: Hernando Hernando, María Isabel

Cotutor/a externo: Besada Ferreiro, Cristina María

CURSO ACADÉMICO: 2025/2026

CARACTERIZACIÓN DE NUEVAS VARIEDADES DE MANDARINAS PIGMENTADAS

RESUMEN

España es el principal productor de cítricos de la Unión Europea, y el quinto a nivel mundial. En los últimos años, el creciente interés de los consumidores por alimentos funcionales y con propiedades beneficiosas para la salud ha impulsado el desarrollo de nuevas variedades de cítricos pigmentados, caracterizados por la presencia de antocianinas, compuestos con elevada capacidad antioxidante. Actualmente, el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) desarrolla un programa de mejora genética orientado a la obtención de mandarinas pigmentadas mediante el cruzamiento de mandarinas convencionales y naranjas sanguinas.

El objetivo de este trabajo fue realizar la caracterización fisicoquímica y sensorial de nuevos híbridos de mandarina pigmentadas obtenidas en dicho programa de mejora, con el fin de identificar aquellos con mayor potencial comercial. Asimismo, se evaluó el comportamiento postcosecha de determinadas selecciones para analizar su aptitud de conservación y la evolución de la pigmentación durante el almacenamiento frigorífico.

Se estudiaron 15 variedades que presentaban algún grado de pigmentación rojiza. Se analizaron los principales parámetros de calidad fisicoquímica: color de piel y pulpa, firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable, índice de madurez, rendimiento en zumo, y el contenido total de antocianinas en zumo. Además, la calidad organoléptica fue evaluada por un panel de catadores semientrenados, valorándose atributos relacionados con el sabor, la textura, la jugosidad y la aceptación del fruto. Además, en 7 de las 15 variedades se evaluó la respuesta postcosecha durante una frigoconservación a 8 °C durante un mes, seguido de un periodo de comercialización de 4 días a 20 °C.

Los resultados de este estudio evidenciaron una elevada variabilidad entre los 15 genotipos evaluados tanto en la fecha de maduración como en la distribución e intensidad de la pigmentación rojiza, identificándose variedades con coloración exclusivamente en la piel, únicamente en la pulpa o en ambos tejidos. Las variedades con mayor pigmentación de la pulpa presentaron las concentraciones más elevadas de antocianinas.

La evaluación sensorial reveló que una elevada aceptación o “liking” estuvo estrechamente relacionado con un adecuado equilibrio entre dulzor y acidez, una elevada jugosidad y la ausencia de sabores extraños. Ocho de las 15 variedades recibieron puntuaciones de aceptación de 7 o superiores en una escala hedónica de 9 puntos, y fueron preseleccionadas por su elevada calidad organoléptica: v1, v2, v3, v4, v7, v8, v12 y v13.

Por otra parte, la conservación frigorífica favoreció significativamente la acumulación de antocianinas y el desarrollo de la coloración rojiza. En concreto, el incremento de la concentración de antocianinas fue significativo en la pulpa de las variedades V7 y V8 y en la pulpa y en la piel de la v12 y v13. Estos resultados confirman el efecto positivo del almacenamiento a baja temperatura sobre la expresión de la pigmentación característica de estos híbridos.

En conclusión, las 8 nuevas variedades de mandarina pigmentada seleccionadas en este trabajo destacan por su elevada calidad organoléptica y su potencial para diversificar la oferta citrícola, al combinar las propiedades beneficiosas asociadas a las antocianinas con las características de consumo propias de las mandarinas. No obstante, estas selecciones deben avanzar a las siguientes fases del programa de mejora, para identificar aquellas variedades que, además de tener una calidad organoléptica sobresaliente, presenten un comportamiento agronómico adecuado.

Palabras clave: nuevas variedades; antocianinas; piel; pulpa; pigmentación; calidad organoléptica; frigoconservación

CARACTERITZACIÓ DE NOVES VARIETATS DE MANDARINES PIGMENTADES

RESUM

Espanya és el principal productor de cítrics de la Unió Europea, i el quint a escala mundial. En els últims anys, el creixent interès dels consumidors per aliments funcionals i amb propietats beneficioses per a la salut ha impulsat el desenvolupament de noves varietats de cítrics pigmentats, caracteritzats per la presència d'antocianinas, compostos amb elevada capacitat antioxidant. Actualment, l'Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA) desenvolupa un programa de millora genètica orientat a l'obtenció de mandarines pigmentades mitjançant el creuament de mandarines convencionals i taronges sanguines.

L'objectiu d'este treball va ser realitzar la caracterització fisicoquímica i sensorial de nous híbrids de mandarina pigmentada obtinguts en este programa de millora, amb la finalitat d'identificar aquells amb major potencial comercial. Així mateix, es va avaluar el comportament postcollita de determinades seleccions per a analitzar la seua aptitud de conservació i l'evolució de la pigmentació durant l'emmagatzematge frigorífic.

Es van estudiar 15 varietats que presentaven algun grau de pigmentació rogenca. Es van analitzar els principals paràmetres de qualitat fisicoquímica: color de la pell i de la polpa, fermesa, sòlids solubles totals, acidesa titulable, índex de maduresa, rendiment en suc i el contingut total d'antocianinas en suc. A més, la qualitat organolèptica va ser avaluada per un panell de tastadors semientrenats, valorant-se atributs relacionats amb el sabor, la textura, la suculència i l'acceptació del fruit. A més, en 7 de les 15 varietats es va avaluar la resposta postcollita durant una frigoconservació a 8 °C durant un mes, seguida d'un període de comercialització de 4 dies a 20 °C.

Els resultats d'este estudi van evidenciar una elevada variabilitat entre els 15 genotips avaluats tant en la data de maduració com en la distribució i intensitat de la pigmentació rogenca, identificant-se varietats amb coloració exclusivament en la pell, únicament en la polpa o en els dos teixits. Les varietats amb major pigmentació de la polpa van presentar les concentracions més elevades d'antocianines.

L'avaluació sensorial va revelar que una elevada acceptació o "liking" va estar estretament relacionada amb un equilibri adequat entre dolçor i acidesa, una elevada suculència i l'absència de sabors estranys. Huit de les 15 varietats van rebre puntuacions d'acceptació de 7 o superiors en una escala hedònica de 9 punts, i van ser preseleccionades per la seua elevada qualitat organolèptica: v1, v2, v3, v4, v7, v8, v12 i v13.

D'altra banda, la conservació frigorífica va afavorir significativament l'acumulació d'antocianinas i el desenvolupament de la coloració rogenca. En concret, l'increment de la concentració d'antocianinas va ser significatiu en la polpa de les varietats V7 i V8 i en la polpa i la pell de V12 i V13. Estos resultats confirmen l'efecte positiu de l'emmagatzematge a baixa temperatura sobre l'expressió de la pigmentació característica d'estos híbrids.

En conclusió, les 8 noves varietats de mandarina pigmentada seleccionades en este treball destaquen per la seua elevada qualitat organolèptica i el seu potencial per a diversificar l'oferta citrícola, en combinar les propietats beneficioses associades a les antocianinas amb les característiques de consum pròpies de les mandarines. No obstant això, estes seleccions han d'avançar a les següents fases del programa de millora, per a identificar aquelles varietats que, a més de tindre una qualitat organolèptica excel·lent, presenten un comportament agronòmic adequat.

Paraules clau: noves varietats; antocianinas; pell; polpa; pigmentació; qualitat organolèptica; frigoconservació

CHARACTERIZATION OF NEW PIGMENTED MANDARIN VARIETIES

ABSTRACT

Spain is the leading citrus producer in the European Union and the fifth largest worldwide. In recent years, growing consumer interest in functional foods and products with health-promoting properties has driven the development of new pigmented citrus varieties characterized by the presence of anthocyanins, compounds with high antioxidant capacity. Currently, the Valencian Institute for Agricultural Research (IVIA) is conducting a breeding program aimed at developing pigmented mandarins through crosses between conventional mandarins and blood oranges.

The objective of this study was to perform the physicochemical and sensory characterization of new pigmented mandarin hybrids obtained within this breeding program in order to identify those with the greatest commercial potential. In addition, the postharvest performance of selected hybrids was evaluated to assess their storage potential and the evolution of pigmentation during cold storage.

A total of 15 varieties exhibiting some degree of reddish pigmentation were studied. The main physicochemical quality parameters analysed included peel and flesh colour, firmness, total soluble solids, titratable acidity, maturity index, juice yield, and total anthocyanin content in juice. Furthermore, organoleptic quality was evaluated by a panel of semi-trained assessors, who rated attributes related to flavour, texture, juiciness, and overall fruit acceptance. In addition, postharvest responses were evaluated in 7 of the 15 varieties during cold storage at 8 °C for one month, followed by a shelf-life period of 4 days at 20 °C.

The results of this study revealed a high degree of variability among the 15 genotypes evaluated, both in terms of ripening date and the distribution and intensity of reddish pigmentation. Varieties were identified with pigmentation only on the peel, exclusively present in the flesh, or occurring in both tissues. The varieties with the highest flesh pigmentation exhibited the greatest anthocyanin concentrations.

Sensory evaluation revealed that high consumer acceptance ('liking') was closely associated with an appropriate balance between sweetness and acidity, high juiciness, and the absence of off-Flavours. Eight of the 15 varieties received acceptance scores of 7 or higher on a 9-point hedonic scale and were preselected based on their outstanding organoleptic quality: v1, v2, v3, v4, v7, v8, v12 and v13.

Furthermore, cold storage significantly promoted anthocyanin accumulation and the development of reddish coloration. Specifically, the increase in anthocyanin concentration was significant in the flesh of varieties v7 and v8 and in both the flesh and the peel of varieties v12 and v13. These results confirm the positive effect of low-temperature storage on the expression of the characteristic pigmentation of these hybrids.

In conclusion, the 8 new pigmented mandarin varieties selected in this study stand out for their excellent organoleptic quality and their potential to diversify the citrus market by combining the health-promoting properties associated with anthocyanins with the desirable consumption attributes of mandarins. Nevertheless, these selections should advance to the next stages of the breeding program in order to identify those varieties that, in addition to outstanding organoleptic quality, exhibit suitable agronomic performance.

Keywords: new varieties, anthocyanins, peel, flesh, pigmentation, organoleptic quality, cold storage.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) por darme la oportunidad de realizar este trabajo en sus instalaciones.

A mi tutora en el IVIA, Cristina Besada, por su guía, apoyo y dedicación durante todo el proceso, y a Marta por su ayuda y seguimiento a lo largo de esta etapa.

A mi familia, y especialmente a mis padres, por su apoyo incondicional y por ser un pilar fundamental a lo largo de estos años.

Gracias a todos los que me han acompañado durante este camino, por hacerlo más fácil y significativo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Los cítricos: situación actual	5
1.2 Cítricos pigmentados.....	5
1.3 Acumulación de antocianinas.....	6
1.4 Mandarinas pigmentadas.....	7
1.5 Evaluación de la calidad de los frutos cítricos	8
1.5.1 Parámetros fisicoquímicos de calidad	9
1.5.2 Evaluación sensorial de los frutos	9
2. OBJETIVO.....	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1 Diseño experimental.....	10
3.2 Determinaciones analíticas.....	12
3.2.1 Color de piel y pulpa	12
3.2.2 Firmeza.....	12
3.2.3 Rendimiento del zumo	12
3.2.4 Acidez titulable.....	12
3.2.5 Sólidos solubles totales	13
3.2.6 Índice de madurez	13
3.2.7 Determinación del contenido de antocianinas totales	13
3.3 Análisis sensorial.....	14
3.4 Análisis estadístico	14
4. RESULTADO Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	15
4.1 Momento de recolección y coloración de los frutos.....	15
4.2 Calidad fisicoquímica y organoléptica	18
4.2.1 Grupo de variedades con pigmentación únicamente en la piel	18
4.2.2 Grupo de variedades con pigmentación únicamente en la pulpa	21
4.2.3 Grupo de variedades con pigmentación tanto en la piel como en la pulpa	25
4.2.4 Análisis Multifactor: relación entre propiedades fisicoquímicas, organolépticas y la aceptación	30
4.2.5 Respuesta a la conservación frigorífica.....	31
5. CONCLUSIONES	36
6. BIBLIOGRAFÍA.....	37
7. ANEXOS.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de producción de los principales cítricos en la Comunidad Valenciana.	5
Figura 2. Diferentes posibilidades de fenotipos de mandarina obtenidos a partir de la hibridación de naranja sanguina x mandarina.	8
Figura 3. Ficha de evaluación utilizada durante el análisis sensorial de las muestras.	14
Figura 4. Fechas de recolección de todas las variedades de mandarinas pigmentadas.	15
Figura 5. Valores medios del color de la piel y el zumo de las diferentes variedades de mandarina. Las barras de error representan la desviación estándar.	16
Figura 6. Valor medio y desviación estándar de la cantidad de antocianinas acumuladas, en el momento de recolección, de cada variedad de mandarina pigmentada.....	17
Figura 7. Aspecto externo e interno de las variedades con pigmentación únicamente en la piel: v1 y v2.....	18
Figura 8. Aspecto externo e interno de las variedades con pigmentación únicamente en la pulpa: v3, v4, v5, v6 y v7.....	22
Figura 9. Aspecto externo e interno de las variedades con pigmentación tanto en la piel como en la pulpa: v8, v9, v10, v11, v12, v13, v14 y v15.	26
Figura 10. Análisis Factorial Múltiple (MFA) de las muestras evaluadas. Gráfico superior (10A): círculo de correlación de las variables fisicoquímicas, organolépticas y de aceptabilidad (“Liking”). Gráfico inferior (10B): proyección de las observaciones (muestras v1 a v15). Los ejes F1 y F2 explican el 60,95 % de la varianza total.	30
Figura 11. Valores medios y desviación estándar de la coloración del zumo en las variedades v1, v3, v7, v8, v10, v12 y v13 en el momento de recolección y tras la salida de comercialización.	32
Figura 14. Valores medios y desviación estándar de la aceptación global de las variedades v1, v3, v7, v8, v10, v12 y v13 en el momento de recolección y tras la salida de comercialización.	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Códigos de las variedades con su numeración correspondiente	11
Tabla 2. Valores medios y desviación estándar de los principales parámetros fisicoquímicos de las variedades con pigmentación únicamente en la piel.	20
Tabla 3. Parámetros organolépticos de las variedades con pigmentación únicamente en la piel. ...	20
Tabla 4. Valores medios y desviación estándar de los principales parámetros fisicoquímicos de las variedades con pigmentación únicamente en la pulpa.	24
Tabla 5. Parámetros organolépticos de las variedades con pigmentación únicamente en la pulpa.	24
Tabla 6. Valores medios y desviación estándar de los principales parámetros fisicoquímicos de las variedades con pigmentación tanto en la piel como en la pulpa.	28
Tabla 7. Parámetros organolépticos de las variedades con pigmentación tanto en la piel como en la pulpa.	29
Tabla 8. Parámetros organolépticos de las variedades tras la conservación y la comercialización.	35

Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Proced e
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	

ODS 3. Salud y Bienestar

Este trabajo está directamente alineado con el ODS 3 de Salud y Bienestar ya que las mandarinas pigmentadas estudiadas presentan un elevado contenido en antocianinas, compuestos con reconocida actividad antioxidante y potenciales beneficios para la salud. La selección de estas nuevas variedades, que combinan una alta aceptación sensorial con un mayor contenido en antocianinas, responde a la creciente demanda de productos que favorezcan hábitos de alimentación saludables.

ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras

La caracterización de las mandarinas pigmentadas está estrechamente relacionada con este objetivo. Esto se debe a que el estudio se basa en actividades de investigación, desarrollo e innovación orientadas a la obtención de nuevos productos agrícolas mediante mejora genética, contribuyendo al avance científico y tecnológico del sector citrícola y favoreciendo el desarrollo de una industria más competitiva y sostenible.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Los cítricos: situación actual

Los cítricos proporcionan una rica fuente de vitaminas, minerales y fibra dietética, siendo un fruto con alto valor nutricional. Constituyen uno de los grupos frutales más importantes a nivel mundial tanto por volumen de producción como por su relevancia económica y comercial. La producción y el comercio de cítricos han aumentado continuamente en las últimas décadas alcanzándose, en la producción mundial, una media cercana a los 163 millones de toneladas durante el periodo 2019–2023, de las cuales aproximadamente 11 millones correspondieron a países de la Unión Europea (FAOSTAT, 2024; MAPA, 2025). Los principales países productores incluyen China, Brasil y los Estados Unidos de América, ocupando España el quinto puesto con aproximadamente el 3,8% de la producción total (FAO, 2026; MAPA, 2025).

España es el principal productor de cítricos de la Unión Europea, representando alrededor del 57% de la producción comunitaria, con una media de 6,15 millones de toneladas (EUROSTAT, 2025; MAPA, 2025). Se puede considerar que ejerce una clara hegemonía en el marco europeo, registrando cifras que sobrepasan considerablemente los índices productivos de Italia y Grecia, segundo y tercer productor de cítricos de la Unión Europea, respectivamente. (EUROSTAT, 2025).

La producción citrícola española se concentra principalmente en la región mediterránea. La Comunidad Valenciana posee la mayor parte de la superficie nacional dedicada a la producción de cítricos, con un 52,9%, seguida de Andalucía con cerca del 30% (MAPA, 2024). Asimismo, dentro de la Comunidad Valenciana, la producción citrícola está liderada por las naranjas, que representan el 47,1% del total, seguidas de las mandarinas, con un 42,3%, mientras que los limones ocupan el tercer lugar, alcanzando el 9,8% de la producción (Conselleria d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, 2026).

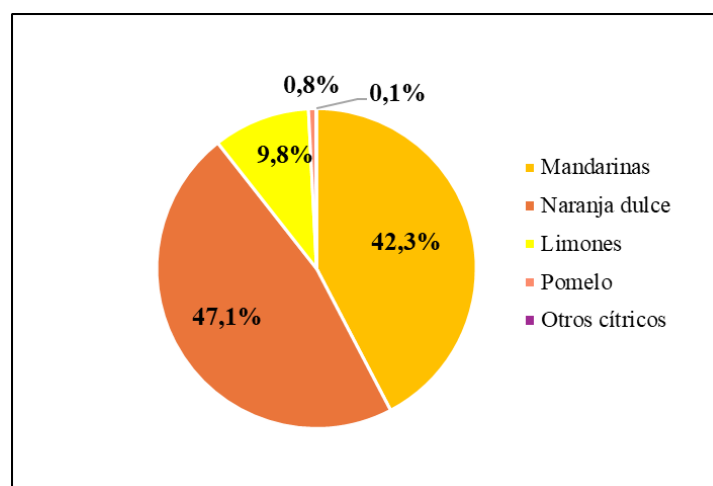


Figura 1. Porcentaje de producción de los principales cítricos en la Comunidad Valenciana.

1.2 Cítricos pigmentados

Dentro de la categoría de los cítricos, la naranja (*Citrus sinensis*) se posiciona como el cultivo de mayor relevancia a nivel global, registrando una producción mundial de 67,24 millones de toneladas (FAOSTAT, 2024). Las principales variedades de naranja cultivadas en España se pueden dividir en tres grandes grupos: el grupo de las Navel (o de ombligo), las naranjas Blancas y las Sanguinas.

Las naranjas sanguinas constituyen un grupo varietal altamente diferenciado debido a sus características particulares. Se distinguen del resto por la pigmentación rojiza de su pulpa y, en ocasiones, también de su piel. Las antocianinas, pigmentos flavonoides hidrosolubles, son responsables de la característica coloración roja que distingue a estas naranjas (Catalano et al., 2020). La creciente evidencia que relaciona el consumo de antocianinas con potenciales beneficios para la salud ha renovado el interés por las naranjas sanguinas durante las dos últimas décadas (Grosso et al., 2013; Li et al., 2017; Solverson, 2020; Vendrame y Klimis-Zacas, 2019). Así, en los últimos años, su consumo ha experimentado un notable crecimiento, especialmente en Europa (Modica et al., 2024; Simons et al., 2019), lo que ha impulsado un aumento en su cultivo en países del área mediterránea como España (Cebadera-Miranda et al., 2019; Modica et al., 2024).

Dentro de la cuenca mediterránea, las naranjas sanguinas se han diversificado en tres grandes grupos. El primero incluye las variedades sicilianas ‘Tarocco’, ‘Moro’ y ‘Sanguinello’, junto con ‘Maltese Sanguigno’, una variedad de origen incierto que probablemente fue seleccionada en Malta antes de difundirse a varios países del norte de África (Barry et al., 2020). El segundo grupo deriva de la variedad española ‘Doble Fina’, de la que han surgido diversas selecciones pigmentadas. Entre ellas destaca ‘Sanguinelli’, descubierta en 1929 en Castellón (España) como una mutación espontánea de yema de ‘Doble Fina’, que adquirió especial relevancia debido a su mayor pigmentación tanto en la pulpa como en la corteza. A pesar de la similitud en el nombre, ‘Sanguinelli’ es genéticamente distinta de la variedad siciliana ‘Sanguinello’. El tercer grupo comprende formas sanguinas de ‘Shamouti’ o ‘Palestine Jaffa’, incluyendo variedades como ‘Shamouti Maouardi’ y ‘Maouardi Beladi’, que comparten la morfología característica de los frutos tipo Shamouti, pero difieren en la intensidad de su pigmentación (Barry et al., 2020; Butelli et al., 2012; Hodgson, 1967).

En Europa, el cultivo de naranjas sanguinas sigue concentrándose en la región mediterránea, donde las condiciones ambientales requeridas para la acumulación de antocianinas son más favorables. Italia ha sido históricamente el principal productor y actualmente es el único país que cuenta con una indicación geográfica protegida específica para las naranjas sanguinas, la IGP «Arancia Rossa di Sicilia», que incluye las variedades ‘Tarocco’, ‘Moro’ y ‘Sanguinello’. El cultivo de naranjas sanguinas también está ampliamente establecido en España, donde se producen comercialmente ‘Sanguinelli’, ‘Moro’ y diversas selecciones de ‘Tarocco’. En los últimos años, variedades como ‘Tarocco Ippolito’ y ‘Tarocco Lempso’ han despertado un creciente interés debido a sus favorables características de calidad y pigmentación.

1.3 Acumulación de antocianinas

El proceso de acumulación de antocianinas en las naranjas sanguinas puede ocurrir tanto en la pulpa como en la piel, pero no siempre de forma equilibrada. Existen variedades con intensa coloración interna y escasa pigmentación externa, así como otras con una coloración marcada en la piel y débil en la pulpa. Del mismo modo, también se han descrito variedades con pigmentación intensa o ligera tanto en la piel como en la pulpa (Cebadera-Miranda et al., 2019; Forner-Giner et al., 2023). Esto pone de manifiesto que no siempre existe correspondencia del grado de pigmentación de la piel y el de la pulpa (Cebadera-Miranda et al., 2019).

A nivel molecular, la acumulación de antocianinas en cítricos está relacionada principalmente con la expresión del gen *Ruby*, un factor de transcripción que regula la biosíntesis de estos pigmentos (Butelli et al., 2012; Catalano et al., 2020). La activación de este gen regula la síntesis y acumulación de antocianinas en los tejidos del fruto, dependiendo la intensidad de la pigmentación alcanzada de factores endógenos y exógenos (Yang et al., 2025). Dentro de los factores endógenos que regulan la síntesis de antocianinas, el más importante es el genotipo, variando significativamente entre variedades (Legua et al., 2022; Modica et al., 2024). Entre los factores ambientales más relevantes destacan la luz y las bajas temperaturas durante la maduración, las cuales favorecen la expresión de la pigmentación característica de estas variedades (Caruso et al., 2016; Catalano et al., 2020; Lo Piero et al., 2005; Yang et al., 2025).

Las bajas temperaturas no solo influyen en la síntesis de antocianinas durante el desarrollo del fruto, sino también durante la conservación postcosecha. Diferentes estudios han evaluado la conservación frigorífica de naranjas sanguinas a temperaturas comprendidas entre 4 y 15 °C, y han determinado que el intervalo de 8-10 °C es el más eficaz para promover la acumulación de antocianinas. Este efecto se ha relacionado con la activación de genes implicados en la biosíntesis de estos pigmentos y, en consecuencia, con un incremento de la pigmentación durante el almacenamiento a baja temperatura (Carmona et al., 2022; Crifò et al., 2011; Lo Piero et al., 2005; Lo Piero et al., 2015; Pannitteri et al., 2017; Rapisarda et al., 2001).

Desde el punto de vista nutricional, las antocianinas han despertado un gran interés debido a sus propiedades antioxidantes y a sus efectos beneficiosos sobre la salud humana. Numerosos estudios han demostrado su capacidad antiinflamatoria, antidiabética, antimicrobiana y anticancerígena (Khoo et al., 2017; Rapisarda et al., 2022), así como su aptitud para mejorar la agudeza visual, prevenir trastornos cardiovasculares y reducir la presión arterial (Zhang et al., 2025). En el caso concreto de los cítricos pigmentados, se ha observado que el consumo habitual de frutos ricos en antocianinas puede contribuir a mejorar la resistencia a la insulina, reducir los niveles de colesterol y disminuir la presión arterial sistólica (Rapisarda et al., 2022; Silveira et al., 2015).

1.4 Mandarinas pigmentadas

La oferta de cítricos pigmentados se ha centrado hasta ahora principalmente en las naranjas sanguinas, y alguna variedad concreta de pomelo de pulpa rosada.

El creciente interés del consumidor por frutas con alta capacidad antioxidante, y la asociación de esta a la coloración rojiza ligada a las antocianinas, ha despertado en el sector citrícola el interés por diversificar la oferta de cítricos pigmentados. Así en los últimos años se han puesto en marcha programas de mejora genética dirigidos a la obtención de mandarinas pigmentadas. El desarrollo de estas nuevas variedades responde al interés por combinar los beneficios nutricionales asociados a las antocianinas con la comodidad de consumo y propiedades sensoriales propias de las mandarinas, como su fácil pelado, ausencia de semillas y elevada aceptación por parte de los consumidores.

Actualmente en Europa existen dos programas de obtención de variedades de mandarina pigmentada, uno en Italia y otro en España, y en ambos la obtención de nuevas variedades se está llevando a cabo principalmente a partir de cruzamientos entre mandarinas clásicas y variedades de naranja pigmentada, como 'Moro' o 'Tarocco' (Rapisarda et al., 2022). Debido a la compleja base genética que controla la acumulación de antocianinas, el cruzamiento entre una naranja sanguina y una mandarina convencional puede dar lugar a una amplia gama de combinaciones fenotípicas. La descendencia puede presentar características más próximas a la naranja o a la mandarina en cuanto a morfología y calidad del fruto, así como diferentes patrones de pigmentación, desde individuos completamente desprovistos de antocianinas hasta híbridos con coloración intensa, localizada exclusivamente en la piel o en la pulpa, o presente en ambos tejidos en distintos grados.

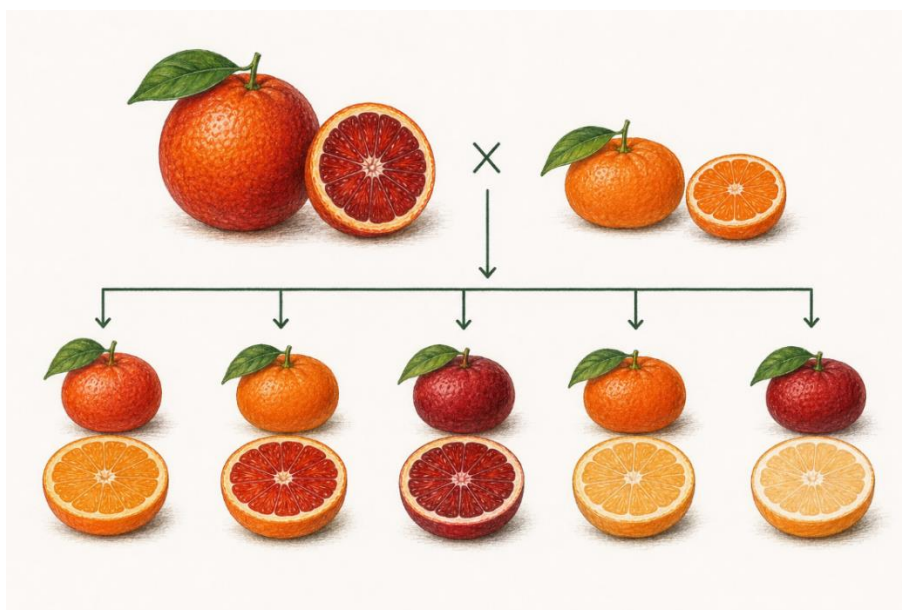


Figura 2. Diferentes posibilidades de fenotipos de mandarina obtenidos a partir de la hibridación de naranja sanguina x mandarina.

El primer programa de obtención de mandarinas pigmentadas se estableció en Italia, de donde son originarias la mayoría de variedades sanguinas comercializadas, y en donde hay una larga tradición de consumo de estos cítricos (Caruso et al., 2020; Giménez-Sanchis et al., 2022; Rapisarda et al., 2008). En concreto, el programa se estableció en el Consejo para la Investigación Agrícola y el Análisis de la Economía Agrícola-Centro de Investigación para Cultivos de Olivo, Frutales y Cítricos (CREA-OFA) (Rapisarda et al., 2022; Reforgiato Recupero et al., 2005).

Más recientemente, en España, el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) ha iniciado un programa de mejora genética para la obtención de nuevas variedades de mandarinas pigmentadas mediante cruzamientos entre mandarinas tradicionales y variedades de naranja sanguina (Giménez-Sanchis et al., 2022; Navarro et al., 2015). Actualmente, este programa dispone de más de 40 híbridos en fase de evaluación agronómica. Sin embargo, para avanzar en el proceso de selección y determinar cuáles de estos materiales presentan un verdadero potencial comercial, resulta imprescindible paralelamente caracterizar de forma exhaustiva su calidad fisicoquímica y sensorial, para la identificación de los híbridos más prometedores.

1.5 Evaluación de la calidad de los frutos cítricos

La calidad en los frutos cítricos puede definirse como el conjunto de características físicas, químicas, sensoriales y nutricionales que determinan su aceptación por parte del consumidor y su valor comercial e industrial. Este concepto engloba aspectos como el color, el tamaño y la forma, relacionados con la apariencia externa del fruto, el sabor y el valor nutricional, que contribuyen a la calidad interna y la facilidad de pelado y la ausencia de semillas, para una mayor facilidad de consumo (Goldenberg et al., 2017).

La calidad de los frutos cítricos está influenciada por diversos factores endógenos y exógenos. Entre los primeros destacan principalmente la variedad o genotipo, el estado de desarrollo y la maduración del fruto. Por otro lado, los factores exógenos incluyen las condiciones ambientales, siendo especialmente importante la temperatura y las prácticas de cultivo (Lado et., al 2018).

En el caso de los cítricos pigmentados, la acumulación de antocianinas, factor clave en su calidad, se va a ver condicionada, tanto por la propia variedad, como por las condiciones climáticas, especialmente la cantidad de frío a la que está expuesto el fruto. Por ello, la evaluación de la calidad y la acumulación de antocianinas resulta fundamental en los programas de mejora genética y selección varietal.

1.5.1 Parámetros fisicoquímicos de calidad

Desde una perspectiva morfológica, los atributos más importantes son el peso, el tamaño y la forma. Asimismo, la intensidad y la distribución del color de la piel y de la pulpa constituye un factor de gran relevancia comercial, especialmente en variedades pigmentadas, ya que su coloración es su característica diferenciadora.

En lo que respecta a los parámetros químicos, estos están estrechamente relacionados con las propiedades organolépticas del fruto. El contenido en Sólidos Solubles Totales (SST), expresado en °Brix, se utiliza como indicador del contenido en azúcares, mientras que la acidez titulable refleja la concentración de ácidos orgánicos presentes en el zumo. La relación entre ambos parámetros, conocida como índice de madurez (IM), es uno de los principales criterios empleados para determinar la calidad y el momento óptimo de consumo. (Villalba-Campos et al., 2014). Otro parámetro muy importante, relacionado con la calidad del fruto, es la concentración de antocianinas ya que influye en el valor funcional y nutricional del fruto (Cebadera-Miranda et al., 2019).

Dentro del conjunto de parámetros fisicoquímicos que definen la calidad de los cítricos, variables como el color externo, el rendimiento en zumo y el IM adquieren una especial importancia. Esto se debe a que constituyen los criterios normativos exigidos por la legislación comunitaria para la comercialización y exportación de estos frutos dentro del marco de la Unión Europea (UNECE, 2025). En el caso de las mandarinas, la norma UNECE establece para los híbridos de mandarina un índice de madurez superior a 7,5, con el fin de garantizar que la recolección no se hace antes de que el fruto haya alcanzado la madurez mínima.

1.5.2 Evaluación sensorial de los frutos

Tradicionalmente, la caracterización de nuevas variedades de frutos se ha basado principalmente en parámetros fisicoquímicos. Sin embargo, muchos atributos relacionados con la aceptación del consumidor dependen de interacciones complejas que no pueden evaluarse únicamente mediante métodos analíticos. Por este motivo, en las últimas décadas los estudios sensoriales han adquirido una gran importancia, sobre todo, en la evaluación de nuevas variedades obtenidas a partir de programas de mejora.

De forma habitual, la descripción de los atributos sensoriales se ha realizado mediante análisis descriptivos convencionales llevados a cabo por paneles entrenados (Gunnness et al., 2009; Rapisarda et al., 2001). Sin embargo, este tipo de análisis requiere largos periodos de formación y un elevado consumo de tiempo (Guàrdia et al., 2010), además de que, en ocasiones, puede perderse parte de la percepción espontánea que experimenta el consumidor durante el consumo del producto (Varela et al., 2012).

Como alternativa, los paneles semientrenados permiten realizar evaluaciones sensoriales de forma más ágil y representativa. Estos paneles están formados por evaluadores con cierta experiencia previa en análisis sensorial, capaces de utilizar escalas de valoración y aplicar de manera consistente el vocabulario sensorial empleado durante las pruebas (de Cassia dos Santos Navarro da Silva et al., 2012). Mediante este tipo de evaluación es posible analizar atributos como el dulzor, la acidez, la jugosidad, la textura, el aroma o la aceptación global del fruto, proporcionando información relevante sobre la calidad organoléptica y el potencial comercial de nuevas variedades de cítricos.

2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es la caracterización fisicoquímica y organoléptica de 15 nuevas variedades de mandarinas pigmentada obtenidas dentro del programa de mejora del IVIA, con el fin de preseleccionar aquellas más prometedoras.

Asimismo, en aquellos híbridos para los que se dispuso de suficiente fruta, se estudió su comportamiento postcosecha con el fin de conocer la respuesta de estos nuevos híbridos a la conservación frigorífica.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Diseño experimental

Las variedades a evaluar en este trabajo pertenecen al programa de mejora genética de mandarinas del IVIA. Estas variedades fueron obtenidas mediante hibridación de mandarinas clásicas con naranjas sanguinas, existiendo actualmente 40 nuevas variedades a evaluar con un único árbol de cada una de ellas. Todos los árboles están localizados en una parcela adyacente a las instalaciones del IVIA (Moncada).

Para la evaluación de estas nuevas variedades, a partir de finales de noviembre se realizaron visitas periódicas a la parcela, aproximadamente cada 15 días. En estas visitas se realizó una evaluación visual tanto externa como interna de la fruta, y dos expertos evaluaron la calidad organoléptica de un mínimo de 2 frutos por visita.

De los 40 árboles evaluados, solo 25 produjeron suficiente fruta para su evaluación, y de estos, únicamente 15 variedades presentaron algún tipo de coloración rojiza, siendo las variedades no pigmentadas, descartadas del estudio.

En estas primeras fases del proceso de evaluación de variedades, la denominación de las mismas se hace mediante un código que hace referencia a su posición en la parcela. Las 15 variedades identificadas como ‘pigmentadas’ y evaluadas en este estudio corresponden a los siguientes códigos: X1901A, X1902A, X1904A, X2106, X2113, X2101, X1009, X1402, X1901B, X1902B, X1904B, X1008A, X1006, X1008B y X2103. Para facilitar la comprensión en este trabajo, se han numerado las variedades de la 1 a la 15 de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1. Códigos de las variedades con su numeración correspondiente

Código	Variedad
X1901A	v1
X1902A	v2
X1904A	v3
X2106	v4
X2113	v5
X2101	v6
X1009	v7
X1402	v8
X1901B	v9
X1902B	v10
X1904B	v11
X1008A	v12
X1006	v13
X1008B	v14
X2103	v15

La fruta se recolectó para su evaluación en el momento que presentó un relación dulce-ácido que podría considerarse comercial de acuerdo con el criterio de los expertos. Tras recolectar toda la fruta existente en el árbol, esta se trasladó al laboratorio de calidad del IVIA donde se analizaron principales parámetros de calidad fisicoquímica. La cantidad de fruta disponible para el análisis dependió de la variedad, ya que, al tratarse de árboles jóvenes, la producción fue muy heterogénea y en algunos casos reducida.

Los parámetros de calidad evaluados fueron: color de piel, firmeza, rendimiento del zumo, color de zumo, acidez titulable, SST e IM. Además, se congelaron muestras de zumo para el posterior análisis del contenido en antocianinas.

Asimismo, se evaluó la calidad organoléptica mediante un panel semientrenado de 8 catadores.

En aquellas variedades en las que se dispuso de suficiente fruta (v1, v3, v7, v8, v10, v12, v13), se llevó a cabo una conservación a 8 °C (HR 85-90%) durante 1 mes más un periodo de comercialización de 4 días a 20°C (HR 80%), para evaluar la respuesta de la fruta bajo condiciones de conservación frigorífica. Transcurrido este periodo se realizaron las mismas determinaciones que en el momento de recolección.

3.2 Determinaciones analíticas

3.2.1 Color de piel y pulpa

Para caracterizar el color de la piel y la pulpa de los frutos se utilizó un colorímetro Minolta (modelo CR-300). Se realizaron 3 medidas externas alrededor de la zona ecuatorial de cada fruto para determinar el color de piel. Para evaluar el color de pulpa se obtuvieron 3 zumos por variedad, a partir de un mínimo de 2 frutos, salvo en aquellos casos en que no se dispuso de suficiente fruta para ello.

Con este instrumento se obtuvieron las coordenadas CIE $L^*a^*b^*$ (L^* : Luminosidad, a^* : eje de abscisas correspondiente al verde y rojo, b^* : eje de ordenadas correspondiente al azul y amarillo), expresándose el color como a^*/b^* , ya que estas coordenadas de color son las más adecuadas para expresar los posibles cambios de color en frutos pigmentados (Buccheri et al., 2015; Rapisarda et al., 2001).

3.2.2 Firmeza

Para determinar la firmeza de los frutos se utilizó un Texturómetro Universal Testing Machine (modelo 3343, Instron Limited). El ensayo que se realizó se denomina ensayo de deformación y los resultados se expresan como porcentaje de deformación de la fruta en milímetros que tiene lugar al aplicar una fuerza de 10N en el eje longitudinal con una velocidad constante.

3.2.3 Rendimiento del zumo

El rendimiento en zumo se determinó como el porcentaje de zumo respecto al peso inicial de la fruta fresca.

Para ello, los frutos se pesaron y posteriormente se sometieron a un proceso de extracción mecánica mediante un exprimidor eléctrico. El zumo obtenido se filtró para eliminar restos sólidos y se midió su volumen final utilizando una probeta graduada.

3.2.4 Acidez titulable

La acidez total del zumo se determinó mediante un valorador potenciométrico automático (Hanna Instruments), equipado con un electrodo combinado de pH y sistema de agitación automática. El resultado se expresó como gramos de ácido cítrico por 100 mL de zumo.

Previamente al análisis, el equipo fue calibrado utilizando disoluciones tampón de pH 4,00 y 7,00. Para cada determinación, se tomó 1 mL de muestra, que se transfirió a un vaso de precipitados, añadiéndose posteriormente agua destilada hasta alcanzar un volumen adecuado para la correcta inmersión del electrodo.

La valoración se realizó con una disolución de hidróxido sódico (NaOH) $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, añadida automáticamente bajo agitación continua. El punto de equivalencia fue determinado potenciométricamente a partir de la variación del pH registrada durante la valoración.

3.2.5 Sólidos solubles totales

Para la determinación del contenido de SST se empleó un refractómetro digital (ATAGO), previamente calibrado con agua destilada, sin tener en cuenta la temperatura puesto que incorpora la función de compensación automática.

La medición consistió en depositar unas gotas de zumo sobre el prisma del refractómetro, asegurando su completa cobertura. Tras cada medición, el prisma se limpió cuidadosamente con agua destilada y papel suave para evitar contaminaciones entre muestras.

El contenido de sólidos solubles se expresó en grados Brix (°Brix) y las medidas se registraron por duplicado.

3.2.6 Índice de madurez

Este parámetro se calcula a partir de la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez titulable, y se emplea de forma habitual en frutos cítricos como un indicador del nivel de maduración del fruto.

3.2.7 Determinación del contenido de antocianinas totales

Esta determinación se llevó a cabo mediante el método por diferencia de pH, basado en la capacidad de las antocianinas para cambiar de color y estructura dependiendo del pH del medio. Este procedimiento permite cuantificar el contenido total de antocianinas en la muestra mediante la medición de la absorbancia a dos condiciones de pH distintas, habitualmente pH 1,0 y pH 4,5, empleando la diferencia entre ambas señales.

A pH 1,0, las antocianinas presentan toda su coloración, registrándose la absorbancia a 510 nm de longitud de onda. En cambio, a pH 4,5 la absorbancia medida se asocia principalmente a la presencia de compuestos de interferencia, tales como productos de degradación de antocianinas, compuestos poliméricos de tonalidad rojiza, así como otros compuestos derivados de reacciones como la de Maillard entre aminoácidos y azúcares.

Para el análisis del contenido de antocianinas en el interior del fruto, se tomaron 2 mL de cada muestra, distribuyéndose 1 mL en un tubo Eppendorf para cada réplica. Posteriormente, los tubos se centrifugaron durante 20 minutos a 6000 rpm y 4°C, para facilitar la separación del sobrenadante.

A continuación, para cada eppendorf se prepararon 2 tubos de ensayo de 2,3 mL, uno con el pH=1 y otro con el pH=4,5. Se tomaron 0,2 mL del sobrenadante de cada muestra mediante pipeteo y se introdujeron en la disolución tampón a pH 1,0, y se realizó lo mismo en la disolución tampón a pH 4,5. Las muestras se mantuvieron en oscuridad durante 1 hora para que los pH actúen con los componentes del zumo.

Transcurrido este tiempo, se transfirieron 0,3 mL de cada tubo, así como de la solución blanco a pH 1,0, a los pocillos de una microplaca. Finalmente, la absorbancia se midió a 510 nm utilizando un espectrofotómetro, permitiendo el análisis simultáneo de varias muestras.

3.3 Análisis sensorial

La evaluación organoléptica es fundamental para determinar la calidad del fruto, analizando atributos que los métodos analíticos no pueden captar por sí solos.

El análisis sensorial se realizó en la sala de catas que se encuentra en el interior de las instalaciones del IVIA. Esta sala contiene 10 cabinas independientes totalmente equipadas, en las cuales se pueden realizar estos análisis en condiciones óptimas.

Un panel semientrenado compuesto por 8 catadores, pertenecientes al personal del departamento de postcosecha del IVIA y con amplia experiencia en evaluación sensorial de cítrico, efectuó la evaluación organoléptica de las 15 variedades estudiadas.

Se recopilaron las respuestas de los evaluadores para los parámetros: dulzor, acidez, equilibrio ácido-dulce, sabores extraños, jugosidad, residuo del gajo y aceptación (“liking”), evaluando cada parámetro en una escala diferente según la característica que se deseaba evaluar (Figura 3).

Se registró “No” cuando no se percibieron sabores extraños, al considerarse una ausencia del atributo.

Fecha:		Observaciones:				
Variedad:						
Nombre catador/a:						
Sabor fruto				Textura en boca		Aceptación (“liking”)
Dulzor	Acidez	Equilibrio ácido-dulce	Sabores extraños	Jugosidad pulpa	Residuo del gajo	
1) Muy poco	1) Muy poco	1) Exceso de ácido	1) Muy poco	1) Seca	1) Mucho	1) Me disgusta muchísimo
2) Poco	2) Poco	2) Equilibrada ácido-dulce	2) Poco	2) Ni jugosa ni seca	2) Un poco	2) Me disgusta mucho
3) Medio	3) Medio	3) Exceso de dulce	3) Medio	3) Jugosa	3) Prácticamente nada	3) Me disgusta moderadamente
4) Bastante	4) Bastante		4) Bastante			4) Me disgusta ligeramente
5) Mucho	5) Mucho		5) Mucho			5) No me gusta ni me disgusta
						6) Me gusta ligeramente
						7) Me gusta moderadamente
						8) Me gusta mucho
						9) Me gusta muchísimo

Figura 3. Ficha de evaluación utilizada durante el análisis sensorial de las muestras.

3.4 Análisis estadístico

Para estudiar la relación entre los parámetros fisicoquímicos, los atributos organolépticos y el grado de aceptación (“liking”) se realizó un análisis multifactor (MFA) con el programa estadístico XL-STAT.

Para estudiar el efecto de la conservación frigorífica sobre la coloración del fruto, el contenido de antocianinas y la aceptación se realizó un análisis de la varianza multifactorial (ANOVA) con el programa STATGRAPHICS Centurion XVI 16.1.03, siendo el momento de análisis (recolección y comercialización) y la variedad los factores considerados. Las diferencias significativas entre medias se establecieron a través del cálculo de intervalos LSD, con un nivel de confianza del 95%.

4. RESULTADO Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Momento de recolección y coloración de los frutos

El momento de recolección de las distintas variedades de mandarina pigmentada se determinó mediante la evaluación organoléptica realizada por expertos. Las recolecciones se distribuyeron entre los meses de enero y febrero, pudiéndose observar una clara diferenciación temporal entre los genotipos analizados y por lo tanto la existencia de variabilidad en el proceso de maduración de los frutos.

Con respecto a la coloración, también se observaron claras diferencias entre variedades, identificándose variedades que únicamente desarrollaron coloración rojiza en la piel, otras únicamente en la pulpa, y finalmente hubo variedades con pigmentación en ambos tejidos.

Así, en la Figura 4 se muestra para cada una de las variedades la fecha de recolección y el tipo de pigmentación presentado:

- La variedad v8 destaca por ser la más precoz de todas, alcanzando su punto óptimo de recolección a mediados de enero, y presentando pigmentación rojiza tanto en piel como en pulpa.
- Durante la última semana de enero se concentra un grupo diverso de variedades en las que se incluyen v1, v2, v3, v9, v10 y v11, entre ellas se pueden observar los tres tipos de pigmentación: sólo en piel, sólo en pulpa, o en ambos tejidos.
- A principios de febrero se observa la mayor densidad de variedades aptas para la recolección (v4, v5, v6, v12, v13, v14 y v15), con 3 variedades con pigmentación sólo en pulpa, y otras 4 con coloración en piel y pulpa.
- Finalmente, la variedad v7 se posiciona como la más tardía alcanzando su momento óptimo de recolección la segunda semana de febrero, y presentando coloración rojiza sólo en pulpa.

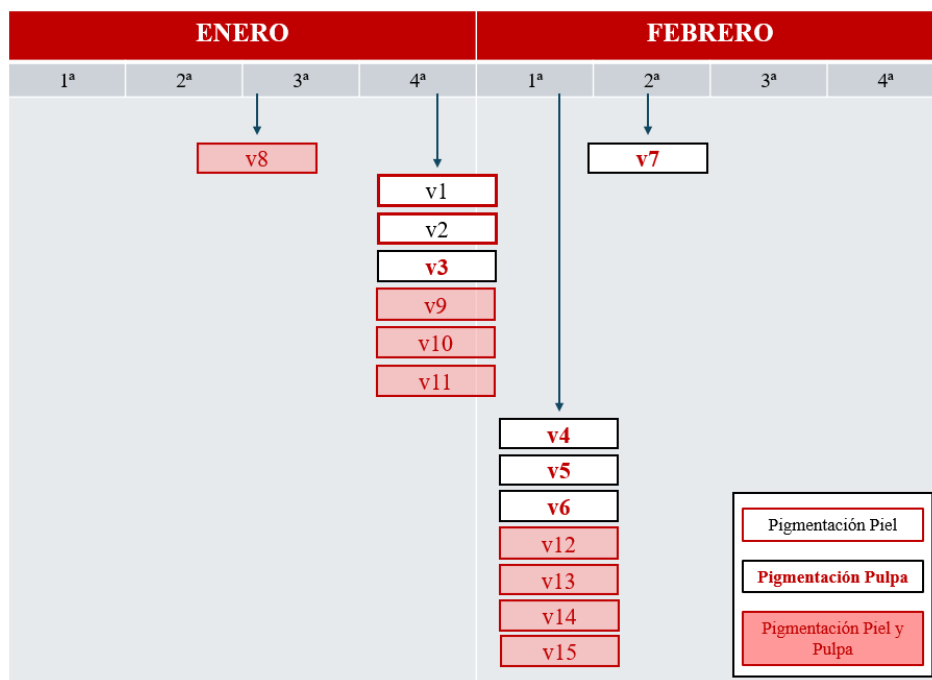


Figura 4. Fechas de recolección de todas las variedades de mandarinas pigmentadas.

En la Figura 5 se pueden visualizar los valores de color (a^*/b^*) de piel y pulpa de cada una de las variedades.

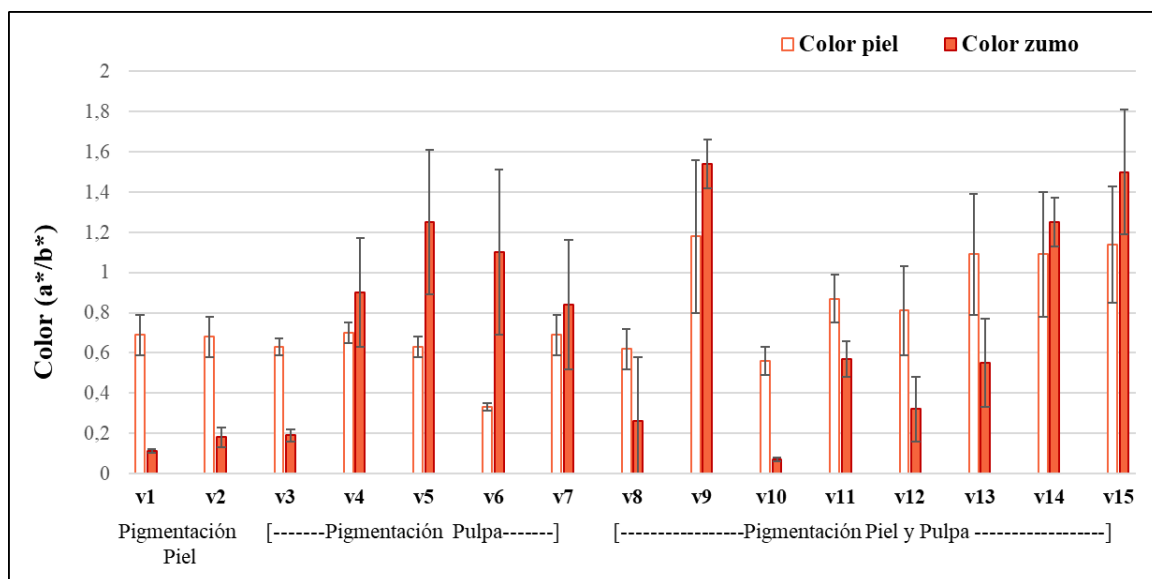


Figura 5. Valores medios del color de la piel y el zumo de las diferentes variedades de mandarina. Las barras de error representan la desviación estándar.

En general, la coloración rojiza de la piel fue menos intensa que la de la pulpa. Además, se observó que la coloración de la piel fue mucho menos acusada en las variedades en las que la pulpa no se pigmentó (v1, v2), respecto a aquellas que presentaron pigmentación externa e interna (v8 a v15). Así, las variedades v1, v2 presentaron valores de color de piel de $a^*/b^* \approx 0,7$, inferiores a los valores que alcanzaron las variedades con pigmentación en ambos tejidos, $a^*/b^* \approx 1,1$ (Figura 5).

Respecto a la pulpa, las variedades de pulpa no pigmentada (v1, v2) presentaron valores $a^*/b^* < 0,2$. Entre las variedades pigmentadas se observó bastante variabilidad en la intensidad de pigmentación. Excepto la v10, todas presentaron valores $a^*/b^* \geq 0,2$. Parte de las variedades presentaron una coloración intensa en la pulpa, con valores superiores a $a^*/b^* = 0,7$. Esta variabilidad en la intensidad de pigmentación de la pulpa se asoció a la concentración de antocianinas presentes en el zumo, con un rango muy amplio desde 4,75 mg/L a 274 mg/L (Figura 6). Las dos variedades más pigmentadas fueron v9 y v15, con coloraciones de a^*/b^* superiores a 1,5 y concentraciones de antocianinas superiores a 250 mg/L.

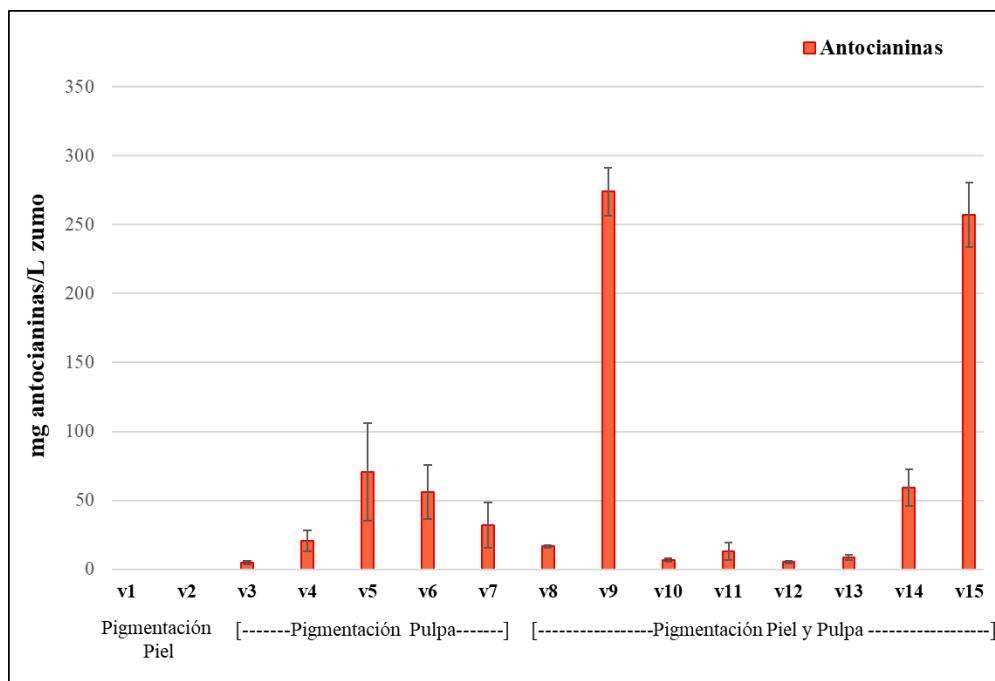


Figura 6. Valor medio y desviación estándar de la cantidad de antocianinas acumuladas, en el momento de recolección, de cada variedad de mandarina pigmentada.

El establecimiento del momento óptimo de recolección constituye un factor crítico en la caracterización agronómica y tecnológica de las nuevas variedades de mandarinas pigmentadas, ya que condiciona directamente su rendimiento comercial y su potencial adaptación al mercado. En este sentido, el calendario de recolección observado en las variedades estudiadas presenta una distribución escalonada, aspecto especialmente interesante para el sector cítrico a la hora de planificar la salida al mercado y garantizar la oferta a lo largo del tiempo.

Por otro lado, las fechas de recolección no parecen estar relacionadas con el patrón de pigmentación de las variedades evaluadas. Tal y como se observa en la Figura 4, existen variedades tanto tempranas como tardías que presentan acumulación significativa de antocianinas exclusivamente en la piel, únicamente en la pulpa o en ambos tejidos. En vista a estos resultados, el comportamiento de las mandarinas respecto a la acumulación de antocianinas parece ser tan variable como en el caso de las naranjas. Tal como describió Cebadera-Miranda et al. (2019) para las variedades de naranjas sanguinas, en el caso de las mandarinas también encontramos que no existe una relación directa entre la coloración externa e interna del fruto, pudiendo encontrarse frutos con una intensa pigmentación rojiza en la piel mientras que la pulpa mantiene tonalidades amarillo-anaranjadas y viceversa.

Cabe destacar que, entre los híbridos obtenidos inicialmente tras el cruzamiento de naranjas sanguinas y mandarinas, también se identificaron híbridos que no presentaban acumulación de antocianinas en ninguno de los tejidos del fruto, y que por lo tanto no fueron incluidos en este estudio. Al igual que en las naranjas sanguinas, en las mandarinas pigmentadas la síntesis de antocianinas está regulada principalmente por el factor de transcripción maestro *CsRuby1*, considerado el interruptor genético esencial que desencadena la expresión coordinada de los genes implicados en la ruta biosintética de estos pigmentos (Catalano et al., 2020). La ausencia de pigmentación en los híbridos descartados muy probablemente es debida a que no heredaron el factor de transcripción necesario para activar el gen *Ruby*.

4.2 Calidad fisicoquímica y organoléptica

Una vez comentada de forma más general la fecha y coloración del grupo de variedades bajo estudio, se presenta en este apartado una caracterización más detallada de cada una de ellas, poniendo el foco en la calidad organoléptica como criterio clave de selección. Para ellos las variedades se han agrupado en base a la presencia de pigmentación en piel y pulpa.

Para la selección de variedades en base a su calidad organoléptica se ha establecido como criterio el valor de aceptación, siendo seleccionadas aquellas variedades que recibieron puntuaciones de “liking” iguales o superiores a 7.

4.2.1 Grupo de variedades con pigmentación únicamente en la piel

Dentro de las 15 variedades estudiadas, las variedades v1 y v2 forman un grupo diferenciado por presentar pigmentación únicamente en la piel, sin que haya tenido lugar acumulación de antocianinas en la pulpa (Figura 7).

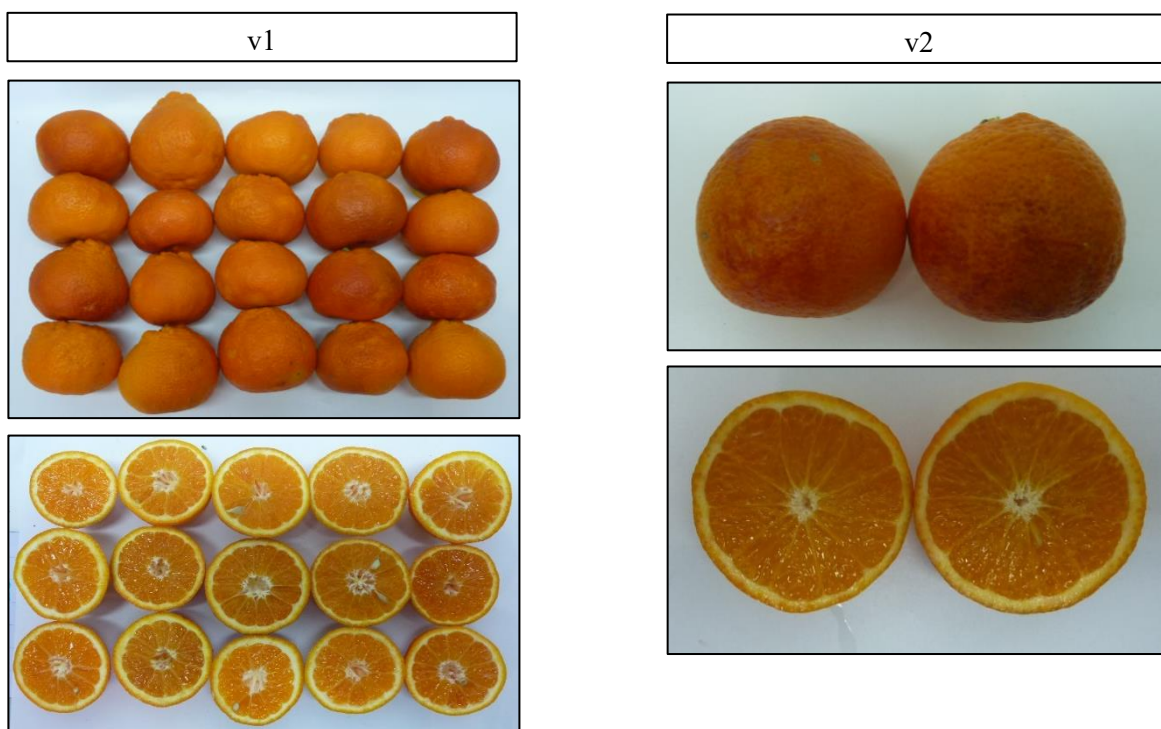


Figura 7. Aspecto externo e interno de las variedades con pigmentación únicamente en la piel: v1 y v2.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos, destaca el índice de color externo, muy similar en ambas variedades ($a^*/b^* = 0,69$ para v1 y $a^*/b^* = 0,68$ para v2), asociado a una ligera pigmentación rojiza en la piel (Tabla 2). Ambas variedades presentaron valores bajos de color de zumo asociado a su coloración anaranjada sin presencia de antocianinas. Otro aspecto a tener en cuenta es el IM, el cual es significativamente superior en la variedad v1 (IM=15,78) comparado con la v2 (IM=10). Esto se debe a que la variedad v1 tiene un contenido de SST mayor y una menor acidez comparándola con la v2.

En lo relativo a los parámetros organolépticos, la variedad v2 es percibida como más ácida y ligeramente menos dulce que la variedad v1, sin embargo, los panelistas encontraron en ambas un buen equilibrio dulce-ácido. Ninguna de ellas presentó sabores extraños y ambas fueron descritas como jugosas, recibiendo puntuaciones de aceptación, en ambos casos, de 8 sobre 9 (Tabla 3).

En base a los resultados obtenidos, destacando especialmente sus elevados valores de aceptación, las variedades v1 y v2 han sido preseleccionadas para su consideración en etapas posteriores de evaluación y caracterización.

Tabla 2. Valores medios y desviación estándar de los principales parámetros fisicoquímicos de las variedades con pigmentación únicamente en la piel.

Variedad	Fecha	Firmeza (% def.)	Color piel (a*/b*)	Color zumo (a*/b*)	Rendimiento zumo (%)	TSS (° Brix)	Acidez (g ác c./100 mL)	Índice Madurez	Ant. totales (mg/L)
v1	28 01 26	4,01±1,23	0,69±0,1	0,11±0,01	39,3±2,42	12,8±0,1	0,81±0,02	15,78±0,47	—
v2	28 01 26	4,97±1,06	0,68±0,08	0,18±0,00	27,39±1,76	11,1±0,2	1,1±0,08	10,05±0,34	—

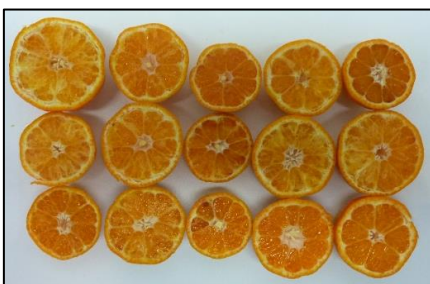
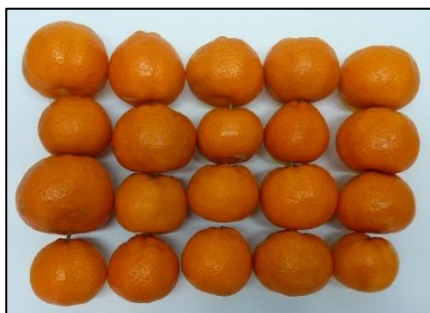
Tabla 3. Parámetros organolépticos de las variedades con pigmentación únicamente en la piel.

Variedad	Sabor				Textura		Aceptación (1-9)
	Dulzor (1-5)	Acidez (1-5)	Equilibrio ácido-dulce (1-3)	Sabores extraños (1-5)	Jugosidad (1-3)	Residuo gajo (1-3)	
v1	4	3	2	No	3	3	8
v2	3,5	4	2	No	3	3	8

4.2.2 Grupo de variedades con pigmentación únicamente en la pulpa

Las variedades que presentaron una coloración rojiza solo en el interior del fruto fueron la v3, v4, v5, v6 y v7 (Figura 8).

v3



v4



v5



v6



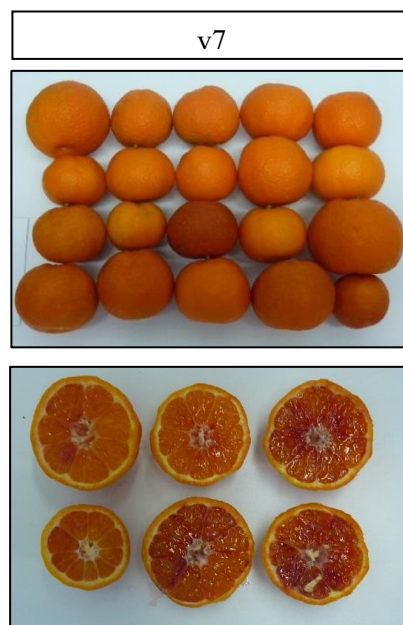


Figura 8. Aspecto externo e interno de las variedades con pigmentación únicamente en la pulpa: v3, v4, v5, v6 y v7.

En este grupo, dentro de los parámetros fisicoquímicos, la medición de antocianinas totales cobra una relevancia especial, ya que define el valor funcional y visual de la pulpa roja. Así pues, la variedad con el contenido más alto de antocianinas fue la v5 con 70,57 mg/L y la que presentó un menor contenido, con tan solo 4,75 mg/L, fue la v3 (Tabla 4). Estos valores fueron reflejados en el índice de color del zumo, presentando los valores máximos (v5 $a^*/b^*=1.25$) y mínimos (v3 $a^*/b^*=0.19$) respectivamente. Tras la v5, las variedades con mayor grado de pigmentación corresponden, en orden, a la v6, la v4 y la v7, presentando valores de la relación a^*/b^* cercanos a 0,9. Respecto al IM, las variedades v4 y v7 presentan unos IM de entre 8 y 9, al contrario que la variedad v3 que posee un IM elevado y a las variedades v5 y v6 que cuentan con unos IM demasiado bajos, debido a su elevada acidez. En lo que respecta a su firmeza y de rendimiento en zumo, la variedad v4 destaca por ser la más firme (6,52 % deformación), mientras que la v7 es la que ofrece un mayor rendimiento de zumo con valores de 40,8%.

En relación con el perfil organoléptico de los frutos, la variedad v4 es la gran destacada de este grupo, alcanzando una aceptación de 8,5, la más alta de todo el estudio (Tabla 5). A pesar de tener una acidez relativamente elevada (4), recibió valores altos de aceptación debido al resto de características que presenta, que podrían describirse como sobresalientes en todos los aspectos. Las siguientes variedades a destacar son la v3 y v7, con una aceptación muy satisfactoria de 7.

En la variedad v7 observamos que, al igual que en la v4, existe un ligero exceso de acidez, aunque esto no impide la gran aceptación de ambas debido a la ausencia de sabores extraños y la elevada jugosidad de los frutos. Por otro lado, en la variedad v3 se observa un perfil sensorial equilibrado, caracterizado por una adecuada relación dulce-ácido, sin detección de sabores extraños.

Finalmente se encuentran las variedades v5 y v6, con una aceptación de 4 y 2, respectivamente, debido a la presencia de sabores extraños, un mayor residuo de gajo en boca y una acidez excesivamente alta. De hecho, estas dos variedades, v5 y v6, no cumplían el IM mínimo exigido por la normativa UNECE (2025), lo que indica que fueron recolectadas antes de tiempo.

Considerando el conjunto de parámetros analizados, se preseleccionaron las variedades v3, v4 y v7 como las más prometedoras dentro de este grupo, mientras que las variedades v5 y v6 fueron descartadas por no alcanzar los niveles óptimos de madurez y calidad sensorial. Estas dos variedades volverán a ser estudiadas en la campaña siguiente, retrasando la recolección hasta que alcancen el valor mínimo requerido de índice de madurez.

Tabla 4. Valores medios y desviación estándar de los principales parámetros fisicoquímicos de las variedades con pigmentación únicamente en la pulpa.

Variedad	Fecha	Firmeza (% def.)	Color piel (a*/b*)	Color zumo (a*/b*)	Rendimiento zumo (%)	TSS (° Brix)	Acidez (g ác c./100 mL)	Índice Madurez	Ant. totales (mg/L)
v3	28 01 26	5,72±1,41	0,63±0,04	0,19±0,03	23,38±6,47	13,63±0,06	0,84±0,1	1,2±1,82	4,72±1,24
v4	05 02 26	6,52±0,54	0,7±0,05	0,9±0,27	30,47±2,84	6,1±0,03	0,76±0,03	8,01±0,73	20,67±7,43
v5	05 02 26	1,78±0,18	0,63±0,05	1,25±0,36	19,42±1,95	11,7±0,12	1,8±0,19	6,5±0,73	70,57±35,2
v6	05 02 26	5,53±1,41	0,33±0,02	1,1±0,41	16,57±1,27	11±1,28	1,96±0,15	5,61±0,54	56,11±19,71
v7	12 02 26	5,37±1,49	0,69±0,1	0,84±0,32	40,8±3,89	11,53±1,66	1,2±0,21	9,66±0,86	31,96±16,36

Tabla 5. Parámetros organolépticos de las variedades con pigmentación únicamente en la pulpa.

Variedad	Sabor				Textura		Aceptación (1-9)
	Dulzor (1-5)	Acidez (1-5)	Equilibrio ácido-dulce (1-3)	Sabores extraños (1-5)	Jugosidad (1-3)	Residuo gajo (1-3)	
v3	4	2	3	No	2,5	2,5	7
v4	2	4	1,5	No	3	3	8,5
v5	2,5	4,5	1	1	3	2	4
v6	2	5	1	4	2,5	1,5	2
v7	2	4,5	1	No	3	3	7

4.2.3 Grupo de variedades con pigmentación tanto en la piel como en la pulpa

En 8 de las 15 variedades de interés analizadas se observó una coloración rojiza distintiva tanto en la piel como en la pulpa. Estas variedades fueron: v8, v9, v10, v11, v12, v13, v14 y v15 (Figura 9).

v8



v9



v10



v11



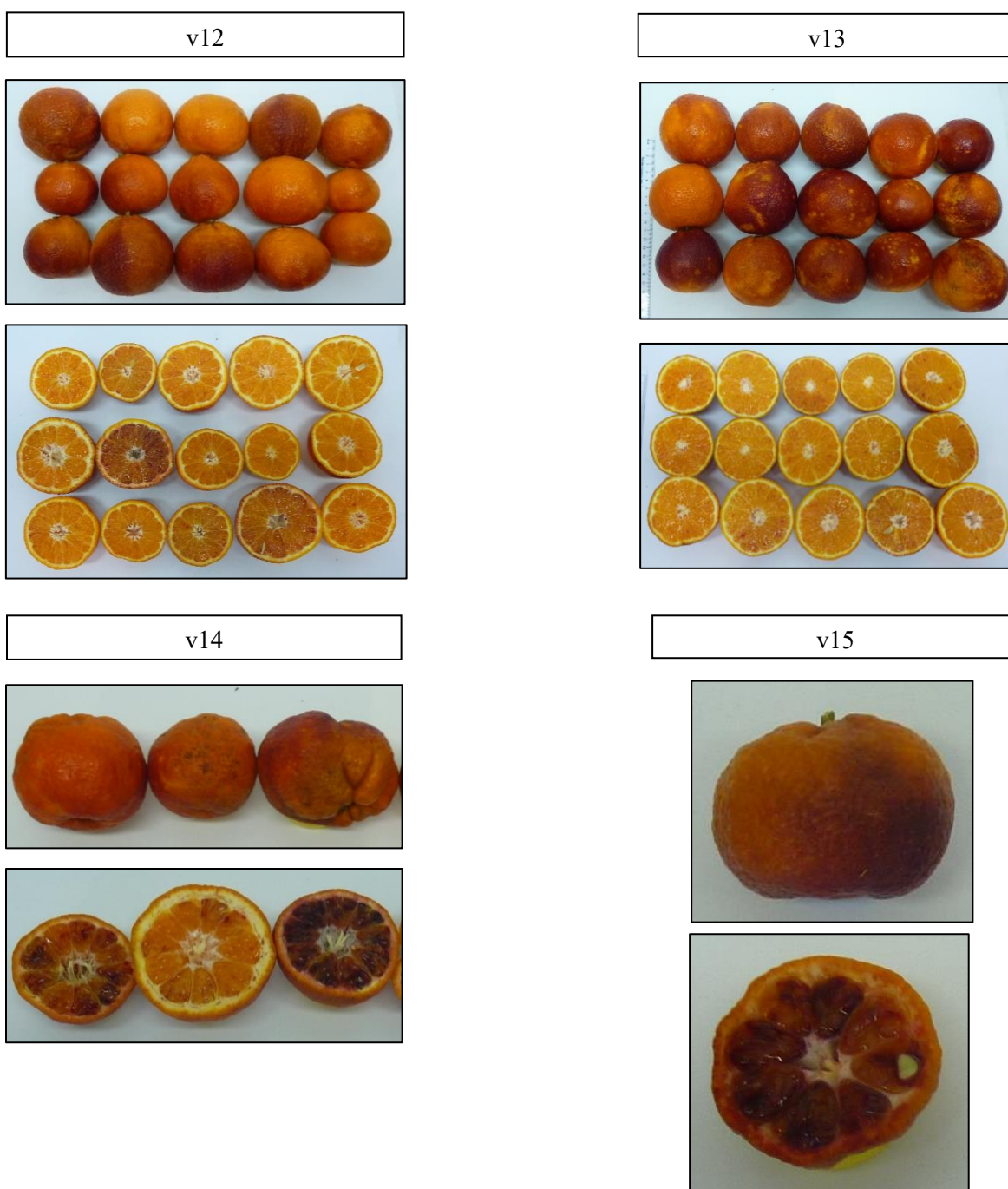


Figura 9. Aspecto externo e interno de las variedades con pigmentación tanto en la piel como en la pulpa: v8, v9, v10, v11, v12, v13, v14 y v15.

Tanto en la coloración interna como en la externa se observó una elevada variabilidad entre las diferentes variedades. Respecto a la coloración interna, las variedades v9 y v15 destacaron por su elevada coloración rojiza, como se puede observar en la Figura 9. Esto se debe a que presentaron el mayor contenido de antocianinas totales en pulpa, con valores de 274 mg/L y 257 mg/L, respectivamente, acompañados de valores de color en zumo superiores a $a^*/b^* = 1,5$ en ambos casos, lo que pone de manifiesto su elevado potencial funcional (Tabla 6). La siguiente variedad en términos de intensidad de coloración de pulpa fue la v14, con un valor de $a^*/b^* = 1,25$ y un contenido de antocianinas de 59,5 mg/L (Tabla 6). El resto de variedades presentaron una coloración rojiza más tenue en la pulpa.

En lo relativo a la coloración de la piel, las variedades con una pigmentación más intensa fueron la v9 ($a^*/b^* = 1,18$) y la v15 ($a^*/b^* = 1,14$) (Figura 9). Las variedades v13 y v14, también exhibieron una elevada intensidad de coloración, teniendo ambos un valor de $a^*/b^* = 1,09$. A su vez, las variedades v11 y v12 mostraron una pigmentación ligeramente inferior. Por otro lado, las variedades que presentaron una menor coloración rojiza de la piel fueron la v8 y v10 con unos valores por debajo de $a^*/b^* = 0,65$.

En cuanto a las demás características fisicoquímicas, los resultados muestran una diversidad significativa en los parámetros de calidad interna. En lo referido al IM, en general todas las variedades tienen un IM elevado, destacando la variedad v8 con un valor de 21,56, situándose considerablemente por encima de otras variedades, debido a su baja acidez y alto contenido en SST. En contraste, las variedades v11 y v15 presentan un IM inferior al resto debido a su menor contenido en SST. Por otro lado, en relación con el rendimiento del zumo, la variedad v13 registra el valor más elevado con un 43,2% (Tabla 6).

Respecto a las características organolépticas, las variedades v12 y v13 obtuvieron la puntuación más alta de aceptación con un 8 sobre 9, favorecida significativamente por el equilibrio entre dulce y ácido, la carencia de cualquier sabor extraño y una elevada jugosidad. La variedad v8 se posicionó como opción de notable interés sensorial, alcanzando una aceptación de 7, sustentada en valoraciones positivas de su textura y niveles de dulzor y acidez satisfactorios (Tabla 7). En contraste, las variedades v9 y v11 presentaron la menor aceptabilidad (4 sobre 9), lo cual se atribuye a la presencia de sabores extraños (2,5 y 1,5 respectivamente) y una mayor presencia de residuo de gajo en boca. El resto de variedades mantienen un perfil intermedio con una aceptación de 5, para las variedades v10 y v14, y un 6, para la variedad v15, debido principalmente a la ligera presencia de sabores extraños o al exceso de acidez.

Como conclusión del análisis realizado, se preseleccionaron las variedades v8, v12 y v13 como las más destacadas dentro de este grupo, al presentar en conjunto un comportamiento fisicoquímico y organoléptico más favorable, reflejando un perfil de calidad superior al observado en el resto de variedades.

Tabla 6. Valores medios y desviación estándar de los principales parámetros fisicoquímicos de las variedades con pigmentación tanto en la piel como en la pulpa.

Variedad	Fecha	Firmeza (% def.)	Color piel (a*/b*)	Color zumo (a*/b*)	Rendimiento zumo (%)	SST (° Brix)	Acidez (g ác c./100 mL)	Índice Madurez	Ant. totales (mg/L)
v8	16 01 26	9,44±3,17	0,62±0,1	0,26±0,02	24,24±1,61	12,55±0,65	0,58±0,04	21,56±0,46	16,52±0,71
v9	28 01 26	7,52±1,74	1,18±0,38	1,54±0,12	27,44±4,56	13,17±0,06	1,05±0,03	12,55±0,38	274±17,45
v10	28 01 26	1,45±0,4	0,56±0,07	0,07±0,01	27,6±1,7	13,4±,036	1,22±0,4	10,96±0,33	6,7±1,22
v11	28 01 26	3,44±0,7	0,87±0,12	0,57±0,09	23,55±0,65	10,27±1,38	1,08±0,18	9,57±0,39	13,04±6,35
v12	05 02 26	2,34±0,65	0,81±0,22	0,32±0,16	29,64±4,6	12,97±0,43	0,86±0,08	15,12±0,87	5,2±0,82
v13	05 02 26	2,54±0,6	1,09±0,3	0,31±0,22	43,2±0,96	14,02±0,1	1,15±0,04	12,19±0,3	8,7±1,77
v14	05 02 26	7,13±2,51	1,09±0,31	1,25±0,12	19,21±0,76	13,1±0,15	1,06±0,05	12,36±0,34	59,5±13,28
v15	05 02 26	11,22±1,87	1,14±0,29	1,56±0,31	25,57±1,24	11,6±0,09	1,27±0,23	9,13±0,28	257±23,5

Tabla 7. Parámetros organolépticos de las variedades con pigmentación tanto en la piel como en la pulpa.

Variedad	Sabor				Textura		Aceptación (1-9)
	Dulzor (1-5)	Acidez (1-5)	Equilibrio ácido-dulce (1-3)	Sabores extraños (1-5)	Jugosidad (1-3)	Residuo gajo (1-3)	
v8	4	2,5	2	No	3	3	7
v9	4	2	2	2,5	2,5	2	4
v10	4	3,5	2	No	3	2,5	5
v11	2	3	2	1,5	2,5	2	4
v12	3	3,5	2	No	3	3	8
v13	3,5	3,5	2	No	3	3	8
v14	2	4	1	1	2	2	5
v15	2,5	3,5	1	No	3	3	6

4.2.4 Análisis Multifactor: relación entre propiedades fisicoquímicas, organolépticas y la aceptación

El Análisis Factorial Múltiple (MFA) aplicado a las quince variedades evaluadas (v1 a v15) permitió estudiar de forma conjunta la relación entre las variables fisicoquímicas, organolépticas y de aceptabilidad (Liking). Los 2 primeros factores (F1 y F2) explican el 60,95 % de la variabilidad total de los datos, porcentaje que puede considerarse adecuado para describir las principales tendencias existentes entre las muestras y las variables analizadas (Figura 10).

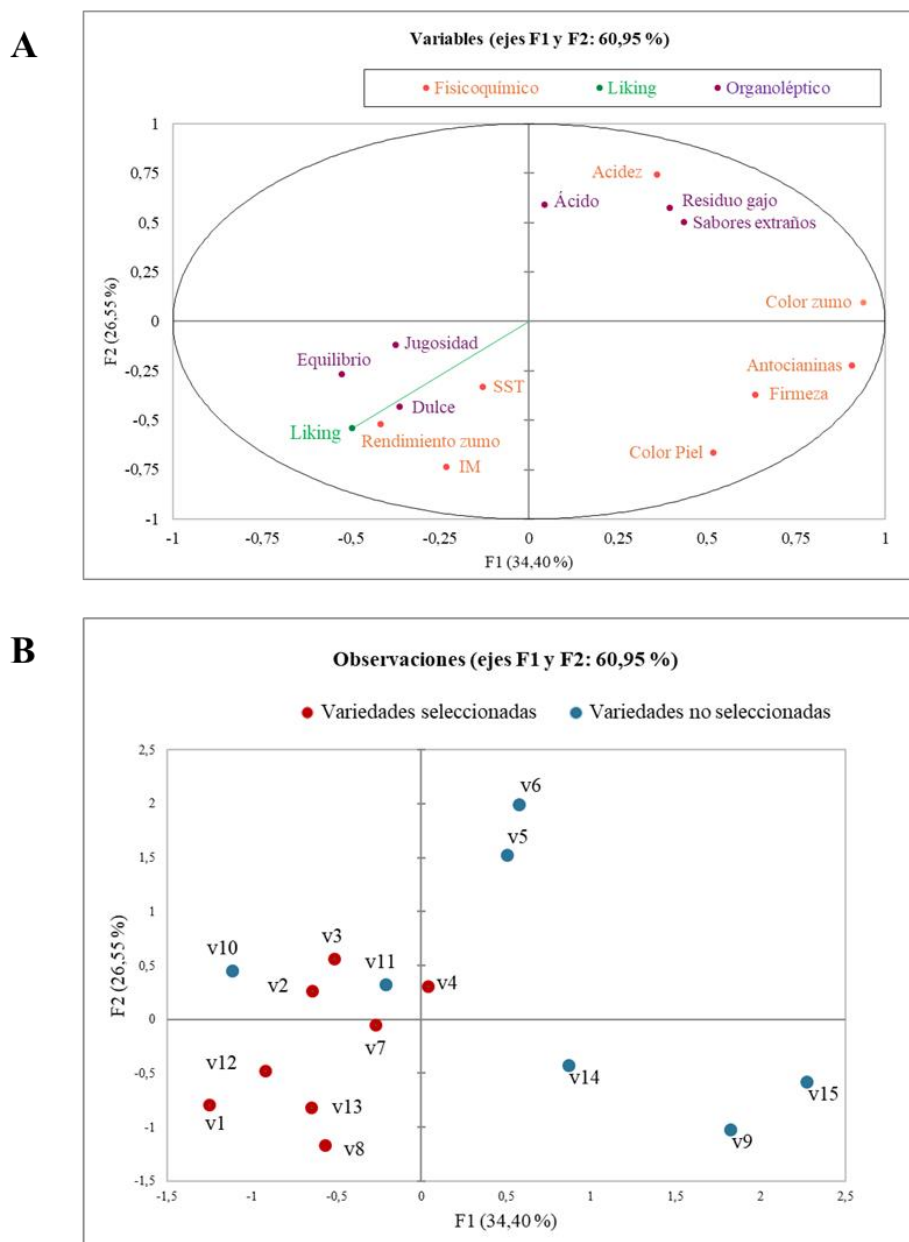


Figura 10. Análisis Factorial Múltiple (MFA) de las muestras evaluadas. Gráfico superior (10A): círculo de correlación de las variables fisicoquímicas, organolépticas y de aceptabilidad (“Liking”). Gráfico inferior (10B): proyección de las observaciones (muestras v1 a v15). Los ejes F1 y F2 explican el 60,95 % de la varianza total.

En el círculo de correlación (Figura 10A) se observa una elevada concordancia entre los parámetros físicoquímicos y organolépticos. Así, el sabor dulce se sitúa próximo a los sólidos solubles totales (SST) y al índice de madurez (IM), indicando una relación positiva entre estas variables, mientras que el sabor ácido se asocia directamente con la acidez titulable del fruto. Asimismo, la jugosidad muestra una relación con el rendimiento en zumo, mientras que la concentración de antocianinas se vincula estrechamente con la intensidad de la coloración del zumo. Por otra parte, los atributos organolépticos residuo de gajo y sabores extraños presentan una correlación positiva, sugiriendo que ambos defectos sensoriales tienden a manifestarse simultáneamente.

Respecto al “liking”, este parámetro se localiza en el mismo cuadrante que las variables jugosidad, equilibrio ácido-dulce y, en menor medida, dulzor, SST e IM, evidenciando que estos atributos contribuyen positivamente a la aceptación del fruto.

En contraste, los descriptores relacionados con una elevada acidez, sabor ácido, presencia de residuo de gajo y sabores extraños se encuentran en dirección opuesta al “liking”. Esta disposición refleja una correlación negativa entre estos atributos y la aceptación, confirmando que su presencia afecta desfavorablemente a la percepción global de calidad por parte de los consumidores.

En la Figura 10B se muestra la distribución de las variedades en función de las variables estudiadas. Todas las variedades preseleccionadas se agruparon hacia el cuadrante inferior izquierdo (v1, v2, v3, v4, v7, v8, v12 y v13), coincidiendo con la dirección del vector de “liking”. Esta proximidad muestra que la mayor aceptación de estas variedades está asociada a la percepción combinada de jugosidad y equilibrio dulce-ácido.

Cabe mencionar, que junto a estas variedades se agruparon también la v10 y v11 a pesar de que sus valores de aceptación no fueron tan elevados como para ser preseleccionadas, presentando valores de “liking” de 5 y 4 respectivamente. Su posición en el mapa de distribución de variedades indica que compartieron con las variedades seleccionadas características como la jugosidad y equilibrio dulce-ácido, por lo que la baja aceptación debe estar asociado a otros factores, muy probablemente a un perfil aromático pobre.

4.2.5 Respuesta a la conservación frigorífica

La respuesta de los frutos a la conservación frigorífica constituye un aspecto determinante en la evaluación postcosecha, ya que las condiciones de almacenamiento influyen de forma directa tanto en la vida útil del fruto como en su calidad externa e interna. En cítricos, el uso de bajas temperaturas se ha consolidado como la principal estrategia postcosecha para reducir las pérdidas asociadas a la pérdida de peso, el ablandamiento y el desarrollo de podredumbres (Habibi et al., 2023). Además, en cítricos pigmentados, con acumulación de antocianinas, el almacenamiento en frío desempeña un papel adicional como estímulo capaz de inducir la biosíntesis de estos compuestos antioxidantes (Buttelli et al., 2012; Habibi et al., 2023).

Diferentes estudios realizados en naranjas sanguinas han demostrado que el almacenamiento a temperaturas de 8-10 °C incrementa notablemente la coloración rojiza y la concentración total de antocianinas, llegando incluso a registrarse niveles hasta 3 veces superiores a los obtenidos en frutos conservados a temperatura ambiente (Habibi et al., 2023; Rapisarda, 2001). Esto, se debe a una activación más eficiente de factores de transcripción que regulan la biosíntesis de antocianinas, como TT8 (Jianhui et al., 2025). Además, esta temperatura cumple simultáneamente con los requisitos técnicos necesarios para prolongar la vida postcosecha y garantizar el control de plagas en mercados de exportación (Carmona et al., 2022).

Temperaturas superiores pueden acelerar la senescencia y provocan pérdidas de peso y firmeza que reducen la calidad comercial del fruto (Habibi et al., 2024). Por el contrario, temperaturas inferiores a 5 °C pueden causar daños por frío, como picaduras y necrosis en la piel, además de estrés oxidativo y alteraciones celulares (Habibi et al., 2021; Habibi et al., 2023). Asimismo, el frío excesivo puede

inhibir parcialmente la biosíntesis de antocianinas y reducir la acumulación de pigmentos en comparación con condiciones moderadamente frías (Chen et al., 2022).

En este estudio, se evaluó la respuesta postcosecha de las variedades v1, v3, v7, v8, v10, v12 y v13, debido a que fueron las únicas de las que se disponían de una cantidad de frutos suficiente para su conservación y posterior análisis. Dentro de este grupo, la variedad v1 presenta pigmentación solo en la piel, la v3 y v7 solo en la pulpa y las cuatro restantes muestran coloración tanto en el exterior como en el interior del mismo. Toda la fruta fue conservada durante un mes de almacenamiento a 8 °C más un periodo de comercialización de 4 días a 20 °C, analizando tras este periodo los principales parámetros fisicoquímicos (datos mostrados en Anexo I) y organolépticos de las variedades seleccionadas.

En las Figuras 11 y 12 se observa cómo el estrés por frío incrementa la coloración del fruto debido a que desencadena la síntesis y acumulación de antocianinas. Podemos observar como la intensidad de esta respuesta en piel y pulpa dependió claramente de la variedad.

En la pulpa se observó un incremento significativo del color en las variedades v7, v8, v12 y v13, mientras que en el resto de variedades no hubo acumulación en este tejido (Figura 11). La variedad v8 destacó por experimentar los cambios más acusados, ya que en recolección presentaba una pigmentación de pulpa muy ligera y tras la frigoconservación viró a tonos rojizos muy intensos. Esto se relacionó con un aumento drástico de antocianinas desde valores de 16,52 mg/L a valores cercanos a 380 mg/L (Figura 12).

En lo que respecta a la pigmentación de la piel (Figura 13), también se observó una respuesta diferencial entre las variedades estudiadas durante el periodo de conservación. Las variedades v12 y v13 fueron las únicas que presentaron cambios apreciables en la coloración epidérmica, mostrando un incremento notable de la intensidad de color, aunque ya partían de niveles elevados de pigmentación en el momento de la recolección. El resto de las variedades mantuvieron una coloración prácticamente estable a lo largo del almacenamiento, sin evidenciar modificaciones significativas en la intensidad del color de la piel.

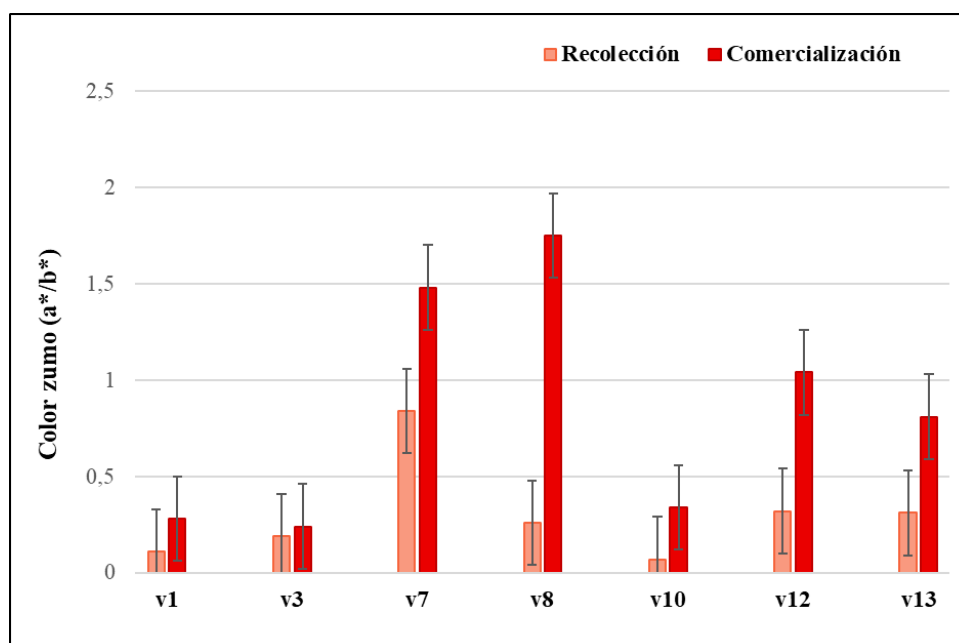


Figura 11. Valores medios y desviación estándar de la coloración del zumo en las variedades v1, v3, v7, v8, v10, v12 y v13 en el momento de recolección y tras la salida de comercialización.

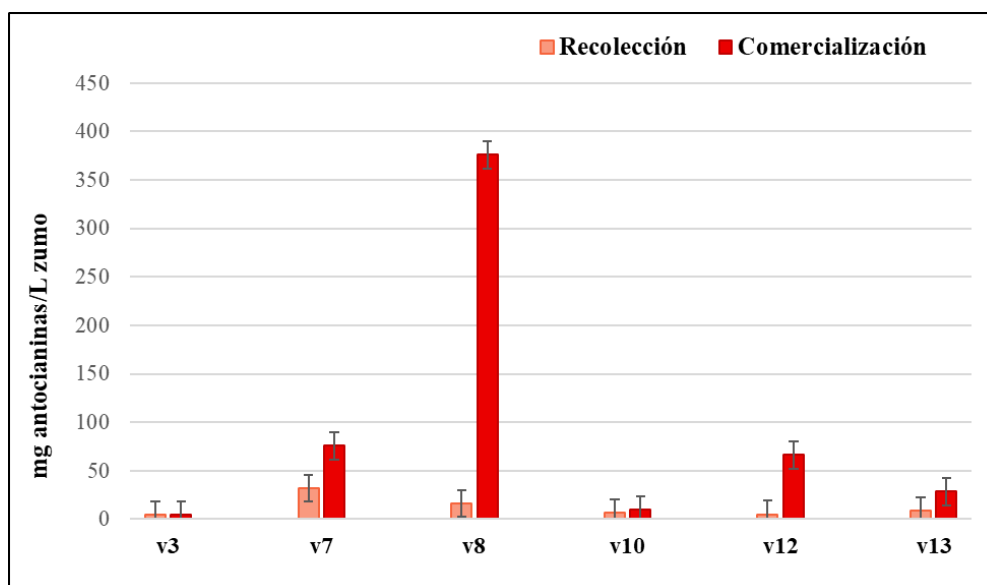


Figura 12. Valores medios y desviación estándar de la cantidad de antocianinas en las variedades v3, v7, v8, v10, v12 y v13 en el momento de recolección y tras la salida de comercialización.

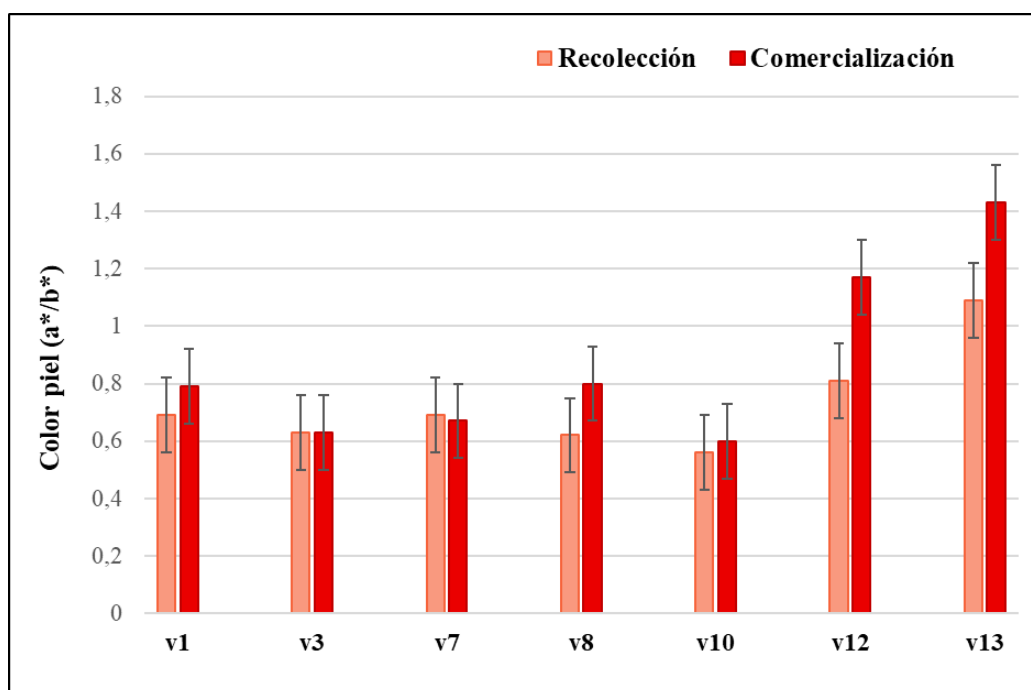


Figura 13. Valores medios y desviación estándar de la coloración de la piel en las variedades v1, v3, v7, v8, v10, v12 y v13 en el momento de recolección y tras la salida de comercialización.

A partir de los resultados obtenidos, podemos concluir que la respuesta al frío depende claramente de la variedad. Las variedades v7 y v8 mostraron un incremento significativo en la coloración de la pulpa. Por su parte, las variedades v12 y v13 mostraron un aumento apreciable de la intensidad del color tanto en la pulpa como en la piel. En el resto de variedades (v1, v3 y v10), no hubo acumulación de antocianinas asociadas al frío ni en la piel ni en la pulpa, lo que sugiere una menor sensibilidad de estos genotipos a la inducción de la biosíntesis de antocianinas bajo condiciones de conservación en frío.

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada y hasta donde alcanza nuestro conocimiento, este trabajo constituye el primer estudio en el que se evalúa la respuesta a bajas temperaturas durante la postcosecha de variedades de mandarinas pigmentadas, suponiendo un avance importante en el conocimiento de la fisiología de estos frutos.

En lo relativo a la calidad organoléptica, en la Figura 14 se presentan los valores de aceptación en recolección y tras el periodo de comercialización que siguió a la conservación frigorífica. Podemos observar como, en general, la aceptación tras la conservación se mantuvo constante o aumentó. En concreto se observa un aumento importante de la aceptación en las variedades v3 y v10, probablemente asociado a un mejor equilibrio dulce-ácido tras la frigoconservación. La única variedad en la se observó un descenso de la aceptación fue la v12, lo que se atribuyó a un exceso de dulzor, una jugosidad inferior en comparación con el resto de las variedades y la ligera presencia de sabores extraños (Tabla 8).

Así, tras la conservación, todas las variedades excepto la v12 presentaron valores superiores a 7, destacando las variedades v1, v3 y v13 con valores tan altos como 8,5 y 9. Las siguientes variedades en el ranking de aceptación fueron v7, v8 y v10 con puntuaciones entre 7 y 7,5.

Podemos por lo tanto concluir que, en general, la frigoconservación permitió preservar la calidad organoléptica de las variedades e incluso mejorarla. Esto, unido a una pigmentación rojiza más intensa en varias de ellas, puede considerarse una ventaja comercial importante.

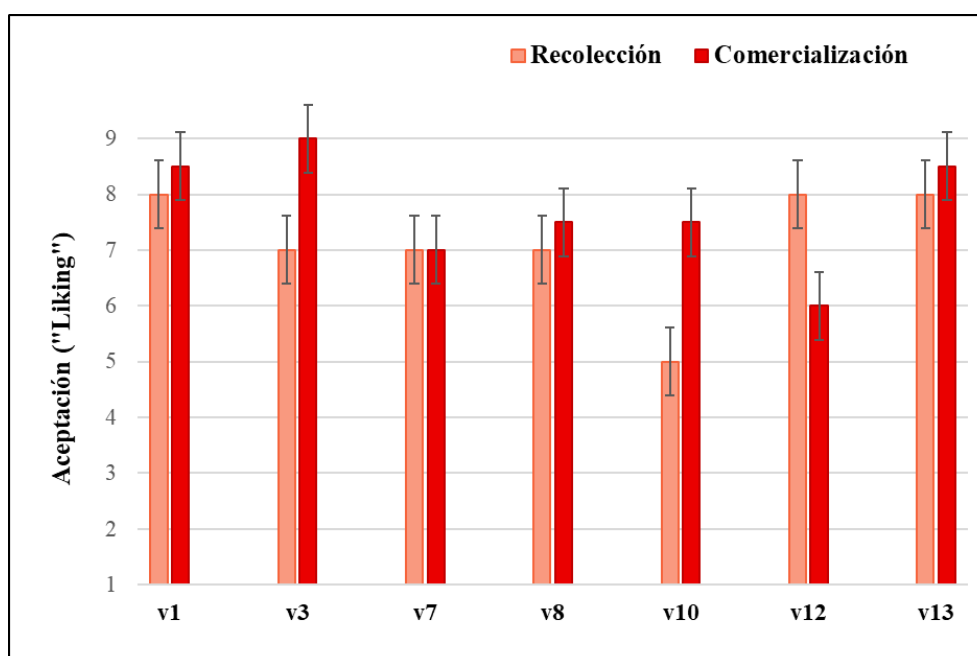


Figura 12. Valores medios y desviación estándar de la aceptación global de las variedades v1, v3, v7, v8, v10, v12 y v13 en el momento de recolección y tras la salida de comercialización.

Tabla 8. Parámetros organolépticos de las variedades tras la conservación y la comercialización.

Variedad	Sabor				Textura		Aceptación (1-9)
	Dulzor (1-5)	Acidez (1-5)	Equilibrio ácido-dulce (1-3)	Sabores extraños (1-5)	Jugosidad (1-3)	Residuo gajo (1-3)	
v1	3,5	4	2	No	3	3	8,5
v3	3,5	4	2	No	3	3	9
v7	3	4,3	1	No	3	3	7
v8	4	2	3	No	3	3	7,5
v10	3	3,5	2	No	3	2	7,5
v12	4	2,6	3	1	2	3	6
v13	3	4	2	No	3	3	8,5

5. CONCLUSIONES

En conclusión, en el presente trabajo se ha llevado a cabo una caracterización exhaustiva de 15 nuevas variedades de mandarinas pigmentadas procedentes del programa de mejora del IVIA, evaluando tanto sus propiedades fisicoquímicas como su perfil organoléptico. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la elevada variabilidad existente entre los distintos genotipos estudiados, identificándose las variedades v1, v2, v3, v4, v7, v8, v12 y v13 como las de mayor calidad, al poseer atributos identificados como clave para la aceptación, entre los que destacan, su adecuado equilibrio entre dulzor y acidez, su elevada jugosidad y la ausencia de sabores extraños.

Asimismo, el estudio confirma que la conservación frigorífica a 8 °C puede ser una estrategia eficaz no solo para prolongar la vida útil de estas variedades, sino también para potenciar su coloración. Durante el periodo de conservación en frío se observó una acumulación de antocianinas; sin embargo, las distintas variedades mostraron respuestas diferenciales en cuanto a la acumulación de estos compuestos en la piel y la pulpa.

En conjunto, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que las mandarinas pigmentadas representan una alternativa innovadora y de alto valor añadido para el sector citrícola, al combinar las propiedades beneficiosas para la salud asociadas a las antocianinas con las características organolépticas y de consumo altamente apreciadas de las mandarinas. Las variedades preseleccionadas constituyen una base sólida para avanzar hacia las siguientes fases de evaluación agronómica y comercial, con vistas a su potencial introducción en el mercado.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Barry, G. H., Caruso, M., & Gmitter, F. G. (2020). Commercial scion varieties. *The genus Citrus* (pp. 83–104). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00005-X>
- Buccheri, M., Grassi, M., Bianchi, G., Lovati, F., Vanoli, M., Rizzolo, A., & Croce, D. (2015). Postharvest physiology, nutritional quality and aroma profile of ‘Tarocco’ blood orange fruit (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Acta Horticulturae*, 1079, 291–298. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1079.35>
- Butelli, E., Licciardello, C., Zhang, Y., Liu, J., Mackay, S., Bailey, P., Reforgiato-Recupero, G., & Martin, C. (2012). Retrotransposons control fruit-specific, cold-dependent accumulation of anthocyanins in blood oranges. *The Plant cell*, 24(3), 1242–1255. <https://doi.org/10.1105/tpc.111.095232>
- Carmona, L., Sulli, M., Diretto, G., Alquézar, B., Alves, M., & Peña, L. (2022). Improvement of Antioxidant Properties in Fruit from Two Blood and Blond Orange Cultivars by Postharvest Storage at Low Temperature. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 11(3), 547. <https://doi.org/10.3390/antiox11030547>
- Caruso, M., Continella, A., Modica, G., Pannitteri, C., Russo, R., Salonia, F., Arlotta, C., Gentile, A., & Russo, G. (2020). Rootstocks Influence Yield Precocity, Productivity, and Pre-Harvest Fruit Drop of Mandared Pigmented Mandarin. *Agronomy*, 10(9), 1305. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091305>
- Caruso, M., Ferlito, F., Licciardello, C., Allegra, M., Strano, M. C., Di Silvestro, S., Russo, M. P., Pietro Paolo, D., Caruso, P., Las Casas, G., Stagno, F., Torrissi, B., Roccuzzo, G., Reforgiato Recupero, G., & Russo, G. (2016). Pomological diversity of the Italian blood orange germplasm. *Scientia Horticulturae*, 213, 331–339. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.044>
- Catalano, C., Ciacciulli, A., Salonia, F., Russo, M. P., Caruso, P., Caruso, M., Russo, G., Distefano, G., & Licciardello, C. (2020). Target-Genes Reveal Species and Genotypic Specificity of Anthocyanin Pigmentation in *Citrus* and Related Genera. *Genes*, 11(7), 807. <https://doi.org/10.3390/genes11070807>
- Cebadera-Miranda, L., Domínguez, L., Dias, M. I., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R., Igual, M., Martínez-Navarrete, N., Fernández-Ruiz, V., Morales, P., & Cámara, M. (2019). Sanguinello and Tarocco (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck): Bioactive compounds and colour appearance of blood oranges. *Food chemistry*, 270, 395–402. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.094>
- Chen, J., Liu, F., Ismail, B. B., Wang, W., Xu, E., Pan, H., Ye, X., Liu, D., & Cheng, H. (2022). Effects of ethephon and low-temperature treatments on blood oranges (*Citrus sinensis* L. Osbeck): Anthocyanin accumulation and volatile profile changes during storage. *Food chemistry*, 393, 133381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133381>
- Conselleria d’Agricultura, Ramaderia i Pesca. (2026) Previsión de cosecha de cítricos, campaña 2025/2026. Retrieved June 12, 2026 from: [956804fb-f517-9d6e-87bb-9a4121bb3ffa](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133381)
- Crifò, T., Puglisi, I., Petrone, G., Recupero, G. R., & Lo Piero, A. R. (2011). Expression analysis in response to low temperature stress in blood oranges: implication of the flavonoid biosynthetic pathway. *Gene*, 476(1-2), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2011.02.005>
- de Cassia dos Santos Navarro da Silva, R., Minim, V. P. R., Simiqueli, A. A., da Silva Moraes, L. E., Gomide, A. I., & Minim, L. A. (2012). Optimized Descriptive Profile: A rapid methodology for sensory description. *Food Quality and Preference*, 24(1), 190–200. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.10.014>

- EUROSTAT. Harvested production in EU, Citrus fruits. 2025. Retrieved May 27, 2026 from: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/apro_cpsh1_custom_21552677/default/bar?lang=en
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2026). Análisis de Mercados Agroalimentarios. Cítricos (FAMA). Retrieved May 25, 2026 from: [https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities-overview/food-and-agriculture-market-analysis-\(FAMA\)/citrus/es](https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities-overview/food-and-agriculture-market-analysis-(FAMA)/citrus/es)
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization). (2024). Crops and livestock production. Retrieved May 25, 2026 from: <https://www.fao.org/Faostat/en/#data/QCL>
- Forner-Giner, M. Á., Ballesta-de Los Santos, M., Melgarejo, P., Martínez-Nicolás, J. J., Núñez-Gómez, D., Continella, A., & Legua, P. (2023). Influence of Different Rootstocks on Fruit Quality and Primary and Secondary Metabolites Content of Blood Oranges Cultivars. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 28(10), 4176. <https://doi.org/10.3390/molecules28104176>
- Giménez-Sanchis, A., Pons-Gómez, A., Farina, V., & Besada, C. (2022). Effect of Pulp Pigmentation Intensity on Consumer Acceptance of New Blood Mandarins: A Cross-Cultural Study in Spain and Italy. *Agronomy*, 12(12), 3058. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123058>
- Goldenberg, L., Yaniv, Y., Porat, R., & Carmi, N. (2018). Mandarin fruit quality: a review. *Journal of the science of food and agriculture*, 98(1), 18–26. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8495>
- Grosso, G., Galvano, F., Mistretta, A., Marventano, S., Nolfo, F., Calabrese, G., Buscemi, S., Drago, F., Veronesi, U., & Scuderi, A. (2013). Red orange: experimental models and epidemiological evidence of its benefits on human health. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2013, 157240. <https://doi.org/10.1155/2013/157240>
- Guàrdia, M. D., Aguiar, A. P. S., Claret, A., Arnau, J., & Guerrero, L. (2010). Sensory characterization of dry-cured ham using free-choice profiling. *Food Quality and Preference*, 21(1), 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.08.014>
- Gunness, P., Kravchuk, O., Nottingham, S., D'Arcy, B., & Gidley, M. (2009). Sensory analysis of individual strawberry fruit and comparison with instrumental analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 52, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.11.006>
- Habibi, F., García-Pastor, M. E., Guillén, F., Serrano, M., & Valero, D. (2021). Fatty acid composition in relation to chilling susceptibility of blood orange cultivars at different storage temperatures. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 770–776. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.013>
- Habibi, F., García-Pastor, M. E., Puente-Moreno, J., Garrido-Auñón, F., Serrano, M., & Valero, D. (2023). Anthocyanin in blood oranges: A review on postharvest approaches for its enhancement and preservation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(33), 12089–12101. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2098250>
- Habibi, F., Shahid, M. A., Spicer, R. L., Voiniciuc, C., Kim, J., Gmitter, F. G. Jr., Brecht, J. K., & Sarkhosh, A. (2024). Postharvest storage temperature strategies affect anthocyanin levels, total phenolic content, antioxidant activity, chemical attributes of juice, and physical qualities of blood orange fruit. *Food Chemistry Advances*, 4, 100722. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100722>
- Hodgson, R. W. (1967). Horticultural varieties of citrus. En W. Reuther, H. J. Webber & L. D. Batchelor (Eds.), *The citrus industry: Vol. 1. History, world distribution, botany and varieties* (pp. 431–591). University of California Press.
- Jianhui, W., Rui, X., Weiqing, G., Zhihong, L., Dayu, L., Jingjing, L., Dagang, L., & Ying, C. (2025). Integration of transcriptome and metabolome analysis reveals that alternative splicing of TT8 modulates

anthocyanin biosynthesis in postharvest blood orange stored at moderate temperature. *Plant molecular biology*, 115(6), 122. <https://doi.org/10.1007/s11103-025-01651-0>

Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & nutrition research*, 61(1), 1361779. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>

Lado, J., Gambetta, G., & Zacarias, L. (2018). Key determinants of citrus fruit quality: Metabolites and main changes during maturation. *Scientia Horticulturae*, 233, 238–248. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.055>

Legua, P., Modica, G., Porras, I., Conesa, A., & Continella, A. (2022). Bioactive compounds, antioxidant activity and fruit quality evaluation of eleven blood orange cultivars. *Journal of the science of food and agriculture*, 102(7), 2960–2971. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11636>

Li, D., Wang, P., Luo, Y., Zhao, M., & Chen, F. (2017). Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: Update from recent decade. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(8), 1729–1741. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1030064>

Lo Piero A. R. (2015). The State of the Art in Biosynthesis of Anthocyanins and Its Regulation in Pigmented Sweet Oranges [(Citrus sinensis) L. Osbeck]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(16), 4031–4041. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01123>

Lo Piero, A. R., Puglisi, I., Rapisarda, P., & Petrone, G. (2005). Anthocyanins accumulation and related gene expression in red orange fruit induced by low temperature storage. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(23), 9083–9088. <https://doi.org/10.1021/jf051609s>

MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). (2025). Análisis de la campaña de cítricos 2024/2025. Julio de 2025. Retrieved May 7, 2026 from: https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/informacion_subsectorial

MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). (2024). Informe Resultados Cítricos Campaña 2023-2024. Retrieved May 7, 2026 from: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/redes-teco-citricos>

Modica, G., Legua, P., La Malfa, S., Gentile, A., & Continella, A. (2024). Qualitative Traits and Antioxidant Properties of Blood Oranges Are Affected by the Genotype and the Climatic Conditions. *Foods* (Basel, Switzerland), 13(19), 3137. <https://doi.org/10.3390/foods13193137>

Navarro, L. (2015). The Spanish Citrus Industry. *Acta Horticulturae*, 1065, 41-47. [10.17660/ActaHortic.2015.1065.1](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1065.1)

Pannitteri, C., Continella, A., Lo Cicero, L., Gentile, A., La Malfa, S., Sperlinga, E., Napoli, E. M., Strano, T., Ruberto, G., & Siracusa, L. (2017). Influence of postharvest treatments on qualitative and chemical parameters of Tarocco blood orange fruits to be used for fresh chilled juice. *Food chemistry*, 230, 441–447. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.041>

Rapisarda, P., Amenta, M., Ballistreri, G., Fabroni, S., & Timpanaro, N. (2022). Distribution, Antioxidant Capacity, Bioavailability and Biological Properties of Anthocyanin Pigments in Blood Oranges and Other Citrus Species. *Molecules* (Basel, Switzerland), 27(24), 8675. <https://doi.org/10.3390/molecules27248675>

- Rapisarda, P., Bellomo, S. E., Fabroni, S., & Russo, G. (2008). Juice quality of two new mandarin-like hybrids (*Citrus clementina* Hort. ex Tan x *Citrus sinensis* L. Osbeck) containing anthocyanins. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(6), 2074–2078. <https://doi.org/10.1021/jf072616e>
- Rapisarda, P., Bellomo, S. E., & Intelisano, S. (2001). Storage temperature effects on blood orange fruit quality. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(7), 3230–3235. <https://doi.org/10.1021/jf0100321>
- Reforgiato, Giuseppe & Russo, Giuseppe & Recupero, Santo. (2005). New Promising Citrus Triploid Hybrids Selected from Crosses between Monoembryonic Diploid Female and Tetraploid Male Parents. *HortScience*. 40. 516-520. [10.21273/HORTSCI.40.3.516](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.3.516)
- Silveira, J. Q., Dourado, G. K., & Cesar, T. B. (2015). Red-fleshed sweet orange juice improves the risk factors for metabolic syndrome. *International journal of food sciences and nutrition*, 66(7), 830–836. <https://doi.org/10.3109/09637486.2015.1093610>
- Simons, T. J., McNeil, C. J., Pham, V. D., Suh, J. H., Wang, Y., Slupsky, C. M., & Guinard, J. X. (2019). Evaluation of California-Grown Blood and Cara Cara Oranges Through Consumer Testing, Descriptive Analysis, and Targeted Chemical Profiling. *Journal of food science*, 84(11), 3246–3263. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14820>
- Solverson P. (2020). Anthocyanin Bioactivity in Obesity and Diabetes: The Essential Role of Glucose Transporters in the Gut and Periphery. *Cells*, 9(11), 2515. <https://doi.org/10.3390/cells9112515>
- UNECE. (2025). UNECE Standard FFV-14 concerning the marketing and commercial quality control of citrus fruit. United Nations Economic Commission for Europe. Retrieved May 22, 2026 from: https://unece.org/sites/default/files/2025-11/FFV_14_CitrusFruit_E.pdf
- Varela, P., & Ares, G. (2012). Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. In *Food Research International* (Vol. 48, Issue 2, pp. 893–908). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.037>
- Vendrame, S., & Klimis-Zacas, D. (2019). Potential Factors Influencing the Effects of Anthocyanins on Blood Pressure Regulation in Humans: A Review. *Nutrients*, 11(6), 1431. <https://doi.org/10.3390/nu11061431>
- Villalba-Campos, L., Herrera-Arévalo, A. O., & Orduz-Rodríguez, J. O. (2014). Parámetros de calidad en la etapa de desarrollo y maduración en frutos de dos variedades y un cultivar de mandarina (*Citrus reticulata* Blanco). *Orinoquia*, 18(1), 21–34. <https://doi.org/10.22579/20112629.277>
- Yang, H., Chen, H., Wang, W., Li, S., Wang, M., Hong, L., Yang, L., & Hu, W. (2025). UV radiation promotes anthocyanins biosynthesis in the fruit peel of blood oranges (*Citrus sinensis*). *Frontiers in plant science*, 16, 1679102. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1679102>
- Zhang, W., Zhang, H., Chen, X., Liu, T., Feng, T., Zhu, P., & Nie, Q. (2025). Volatilomic Signatures and Antioxidant Activities of red Mandarin (*Citrus reticulata* ‘Dahongpao’) Essential Oils from Peel, Flower, and Leaf. *Natural Product Communications*, 20(9). <https://doi.org/10.1177/1934578X251382350>

7. ANEXOS

Anexo I: Valores medios y desviación estándar de los principales parámetros fisicoquímicos de las variedades tras la conservación y la comercialización.

Variedad	Fecha	Firmeza (% def.)	Color piel (a*/b*)	Color zumo (a*/b*)	Rendimiento zumo (%)	TSS (° Brix)	Acidez (g ác c./100 mL)	Índice Madurez	Ant. totales (mg/L)
v1	02 03 26	5,42±1,33	0,79±0,11	0,28±0,04	43,94±6,33	12,73±0,45	0,81±0,05	15,75±1,46	--
v3	02 03 26	8,27±1,37	0,63±0,04	0,24±0,03	30,33±2,92	13,33±0,9	0,92±0,01	14,53±1,05	4,75±2,79
v7	25 03 26	10,18±3,12	0,67±0,1	1,48±0,43	40,78±4,16	12,47±0,21	1,37±0,13	9,13±0,86	75,7±32,05
v8	18 02 26	14,99±3,29	0,8±0,53	1,75±0,11	24,64±6,47	13,7±0,1	0,64±0,04	21,5±1,41	375,96±42,09
v10	02 03 26	3,13±0,88	0,6±0,07	0,34±0,27	30,74±2,43	13,93±0,68	1,27±0,11	10,97±0,61	9,7±3,47
v12	09 03 26	4,56±1,58	1,17±0,33	1,04±0,34	36,15±1,36	13,7±0,1	0,88±0,11	15,78±1,76	66,26±24,74
v13	05 03 26	33,2±1,14	1,43±0,41	0,81±0,17	39,57±4,8	14,57±0,12	1,12±0,15	13,2±1,69	28,44±8,29