



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para
el Desarrollo

Evolución de los componentes volátiles de frutos de Sorbus
domestica durante la maduración

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Gestión de la Seguridad y Calidad
Alimentaria

AUTOR/A: Martínez Gamir, María Ángeles

Tutor/a: Raigón Jiménez, M^a Dolores

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

EVOLUCIÓN DE LOS COMPONENTES VOLÁTILES DE FRUTOS DE *SORBUS DOMESTICA* DURANTE LA MADURACIÓN

Martínez, M.A., Raigón, M.D¹

RESUMEN

Las especies vegetales han sido la principal fuente de alimentos para el ser humano a lo largo de la Historia. Este sustento alimenticio se ha producido a través de infinidad de especies, las cuales pueden ser aprovechadas por las hojas, las semillas, las raíces y los frutos. Las plantas que inicialmente se recolectaban de forma silvestre llegaron a domesticarse cuando el ser humano las comenzó a cultivar y seleccionar según el calibre y los sabores. Algunas de las especies comestibles hace años han dejado de consumirse por diferentes razones socioeconómicas. En este sentido, los frutos de *Sorbus domestica* formaban parte de la alimentación en determinadas zonas rurales de Castilla León y actualmente han dejado de consumirse. El principal objetivo de este trabajo ha sido tipificar la composición volátil de los frutos de *Sorbus* en tres momentos de la maduración poscosecha, comparando los resultados con el perfil aromático de la manzana y el dulce de membrillo. Se han empleado frutos procedentes de Valladolid y se aplicaron técnicas de cromatografía gaseosa. Se ha establecido el perfil aromático de los frutos de *Sorbus domestica*, llegando a conocer cuáles son los compuestos aromáticos presentes en el fruto y su variación en función de la etapa de maduración. Los frutos de *Sorbus domestica* son complejos en su perfil aromático y tienen alto potencial para incluir en los mercados y generar alternativas de producción y de consumo a la par que se recupera patrimonio alimentario.

PALABRAS CLAVE: cromatografía, alimentos locales, 2,4,5-trimetil-1,3-dioxolano, clasificación, 1-hexanol.

RESUM

Les espècies vegetals han sigut la principal font d'aliments per a l'ésser humà al llarg de la Història. Aquest sosteniment alimentari s'ha produït mitjançant infinitat d'espècies, les quals poden ser aprofitades per les fulles, les llavors, les arrels i els fruits. Les plantes que inicialment es recol·lectaven de manera silvestre van arribar a domesticar-se quan l'ésser humà les va començar a cultivar i seleccionar segons el calibre i els sabors. En aquest sentit, els fruits de *Sorbus domestica* formaven part de l'alimentació en determinades zones rurals de Castella Lleó i actualment han deixat de consumir-se. El principal objectiu d'aquest treball ha sigut tipificar la composició volàtil dels fruits de *Sorbus* en tres moments de la maduració postcollita, comparant els resultats amb el perfil aromàtic de la poma i el dolç de codony. S'han emprat fruits procedents de Valladolid i es van aplicar

¹ Universitat Politècnica de València, Departamento de Química, Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, España.

tècniques de cromatografia gasosa. S'ha establert el perfil aromàtic dels fruits de *Sorbus domestica*, arribant a conèixer quins són els compostos aromàtics presents en el fruit i la seua variació en funció de l'etapa de maduració. Els fruits de *Sorbus domestica* són complexos en el seu perfil aromàtic i tenen alt potencial per a incloure-les en els mercats i generar alternatives de producció i de consum al mateix temps que es recupera patrimoni alimentari.

PARAULES CLAU: Cromatografia, aliments locals, 2,4,5-trimetil-1,3-dioxolà, classificació, 1-hexanol.

SUMMARY

Plant species have been the main source of food for humans throughout history. This food sustenance has been produced through countless species, which can be used by the leaves, seeds, roots and fruits. The plants that were initially collected in the wild became domesticated when the human being began to cultivate them and select them according to size and flavours. Some of the edible species have ceased to be consumed for years for different socioeconomic reasons. In this sense, the fruits of *Sorbus domestica* were part of the diet in certain rural areas of Castilla León and are currently no longer consumed. The main objective of this work has been to typify the volatile composition of *Sorbus* fruits at three moments of postharvest ripening, comparing the results with the aromatic profile of apple and quince jelly. Fruits from Valladolid have been used and gas chromatography techniques have been applied. The aromatic profile of the fruits of *Sorbus domestica* has been established, getting to know which are the aromatic compounds present in the fruit and their variation depending on the ripening stage. The fruits of *Sorbus domestica* are complex in their aromatic profile and have a high potential to be included in the markets and generate production and consumption alternatives while recovering food heritage.

KEYWORDS: Chromatography, local foods, 1,3-dioxolane,2,4,5-trimethyl-, classification, 1-hexanol.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la humanidad ha dado a las plantas una amplia variedad de usos, centrados principalmente en la alimentación. Con el transcurso del tiempo, el cultivo de plantas se encuentra en auge en ámbitos de la medicina, farmacia, energía, cosmética y nutrición (Şenkal, 2020). Este interés se debe a la capacidad que contienen las plantas de sintetizar compuestos bioquímicos de gran complejidad, dando lugar a una serie de recursos naturales únicos e irremplazables. Para lograr tener la mayor rentabilidad de estos componentes activos es necesario conocer en profundidad sus características biológicas y sus diversos usos (Morales *et al.*, 2011).

Tanto las plantas silvestres como las cultivadas presentan concentraciones importantes de estos compuestos bioactivos (Fukalova Fukalova *et al.*, 2022), algunos de los cuales presentan propiedades nutraceuticas y/o aromaticas. Aunque la mayor biodiversidad se presenta en las plantas herbaceas, de interes tanto por las hojas, como por las raices, como por los frutos y semillas. Las plantas leñosas y en concreto las especies frutales son también un importante reservorio de estos componentes, principalmente por los frutos.

En la actualidad existe una amplia variedad de árboles frutales, pero lamentablemente se ha priorizado el cultivo de especies que comercialmente están más aceptadas y se ha dejado de lado a especies más locales o de consumo más específico. Una de esas especies infravaloradas en el momento actual es *Sorbus domestica*, conocida como jerbo, serbal común u otras sinonimias existentes en función de la zona geográfica (tabla 1).

TABLA 1. Nombres populares de *S. domestica* (árbol y fruto) en España

Nombre del árbol	Nombre del fruto	Región
Jerbo, jermal, jelbo	Jerba	Castilla-León, La Rioja
Serbo, serba, serbal	Serba, sorba	Andalucía, Castilla-La Mancha
La silbal, la silba, la bifural	Silba	Zamora y León
Sierbo	Sierba	Norte de Soria, La Rioja
Zurbal, Surbial, surbial	Zurba, Zurbia	Álava, La Rioja Alta, Norte de Burgos
Acafresna, alcafresna, argomeru	Acafresna	Asturias, Norte de León
Acerollo, cerollera, serbera, azerollera, serbero, zerolera zarolera, zeroldera,	Acerolla, cerolda, zerolla	Aragón
Pomo, pomera, pomal	Poma	La Rioja, Navarra meridional
Surbu, suerbal	Surba, suerba	Valle de Liébana
Gurbea, udalatxa, udaelatz, zurbal, zurbalondo	Gurbealea, udarelatxa, zurba	País Vasco, Navarra
Sorbeira y solveira	Sorba	Galicia
Servera, server, server común	Serva	Cataluña, Valencia, Baleares

En algunas regiones de España se ha catalogado como especie vulnerable (Cáceres Escudero, 2020) y se considera una especie en peligro de extinción por cuatro razones principales, las cuales recogieron Oria *et al.* (2006):

- Se ha abandonado, casi por completo, el cultivo de *Sorbus* porque sus frutos no parecen ser grandes competidores en comparación a otras frutas de mayor calibre, más vistosas y de maduración homogénea.
- Se ha realizado la tala de ejemplares por el excepcional valor de la madera y posteriormente no se han llevado a cabo trabajos de reposición de ejemplares.

- Se ha arrancado gran cantidad de árboles debido al cambio del uso del suelo. Era frecuente encontrar ejemplares de jerbo, mezclados entre los viñedos, pero debido al cambio de uso y a la maquinaria especializada, los agricultores se han visto obligados a retirarlos para facilitar las labores de cultivo.
- Con la llegada a España de una fuerte bacteriosis que afectó a la familia de las rosáceas se han establecido normativas legales para controlar los posibles daños y mitigar la probabilidad de transmisión, lo cual se atenuó eliminando algunos ejemplares.

En ciertas zonas se han implantado medidas para tratar de mitigar estos efectos, por ejemplo, en Castilla-León se está desarrollando un programa de reforestación al amparo de la Política Agraria Común, con ayudas para repoblar con determinadas especies arbóreas, incluyendo *Sorbus domestica*, en 7 de las 35 estaciones forestales de Castilla y León, aunque por el momento la reforestación con esta especie bajo este programa no ha tenido el éxito deseado (Oria *et al.*, 2006). Sardeshpande y Shackleton (2019) proponen el uso del jerbo para la restauración de bosques degradados o para mitigar el efecto del cambio climático, incrementando la biodiversidad y generando espacios de alto valor.

Se trata de una especie leñosa caducifolia, perteneciente a la familia de las rosáceas, es de copa frondosa y está considerada de tamaño medio-grande ya que alcanza alturas de 15 m aproximadamente (Cáceres Escudero, 2020). Presenta tendencia termófila y necesita la luz solar directa para desarrollarse correctamente. Es una planta robusta, ya que soporta bajas y altas temperaturas, así como posibles heladas o sequías (Oria *et al.*, 2006). Sin embargo, según Rotach (2003) se trata de un competidor muy débil a pesar de que su capacidad de crecimiento es bastante buena. La especie *Sorbus domestica* se encuentra distribuida en diferentes regiones ecogeográficas con poblaciones fragmentadas y de baja densidad (Poljak *et al.*, 2021). Está presente en zonas del sur y el centro de Europa, siendo más notable su presencia en la zona de la península de los Balcanes, en la península Itálica, al este de la península Ibérica y en Francia. Cabe destacar, la aparición esporádica de algunos ejemplares en el norte de África, en las Islas Británicas y la zona del Cáucaso (Matczak *et al.*, 2018). Prefiere los terrenos calizos y soporta bien los silíceos, normalmente crece en altitudes entre los 300 y 1800 m.

Son árboles que se caracterizan por tener madera densa y dura. Presentan vecería, entre abril y mayo, se generan flores blancas bisexuales agrupadas en corimbos, las cuales son polinizadas por insectos. El principal medio de dispersión de las semillas es a través de los excrementos de los animales salvajes y esporádicamente mediante las aves (Snow y Snow, 1988; García-Fayos *et al.*, 2002). La digestión de las semillas facilita la eliminación de las sustancias que inhiben su germinación (Oria *et al.*, 2006).

Los frutos maduran entre finales de verano y principios del otoño. Son frutos carnosos en forma de pera o manzana con un tamaño aproximado de 3 cm de diámetro. Su color varía de tonos verdosos a rojizos en función de su estado de madurez (García-Fayos *et al.*, 2002). Los frutos de *Sorbus domestica* L. resultan ser astringentes hasta que alcanzan la maduración,

momento en el cual pasan a tener un sabor más agradable. Oria *et al.* (2006) indicaron que antiguamente lograban la maduración del fruto de forma lenta y escalonada en el tiempo al introducirlos entre la paja o el cereal cosechados. Durante este período se produce un proceso de fermentación que provoca que la pulpa sea más blanda y palatable. Los frutos también pueden consumirse a través de diferentes procesados como son las mermeladas o las jaleas (Lim, 2012).

Termentzi *et al.* (2006) observaron que en la región de Xanthi (Grecia) los frutos son muy consumidos por las personas de renta baja, llegando incluso a considerarse un componente indispensable en su dieta. También existen evidencias, de que desde la época romana los frutos de *S. domestica* se han utilizado para curar problemas intestinales y como aditivo en la conserva de la sidra de manzana (Rotach, 2003). También se utilizan en algunas zonas para elaborar bebidas destiladas (Galabova *et al.*, 2022).

Algunos autores indican que las bayas y las hojas del jerbo poseen propiedades diuréticas, antiinflamatorias y antidiabéticas (Kültür, 2007). Chicaiza Ruiz (2020) determinó que los frutos de la especie *Sorbus domestica* resultan ser una inexplorada e interesante fuente de proteínas, potasio, calcio y magnesio. Anteriormente, los resultados obtenidos por Majić *et al.* (2015), revelaron que la mayor cantidad de magnesio se almacena en las semillas y que la corteza es el mayor reservorio de calcio y zinc. Por lo que ambos pudieron establecer que la especie sería una fuente importante de proteínas, vitaminas y minerales para el ser humano al igual que lo hicieron Bvenura y Sivakumar (2017).

Los frutos también han sido calificados como prebióticos y de alta capacidad antioxidante en aplicaciones alimentarias y farmacológicas. Termentzi *et al.* (2008) vinculan sus efectos biológicos al contenido de polifenoles. Previamente a ello, se observó que los antioxidantes más fuertes se encontraban en los frutos amarillos inmaduros, mientras que en las piezas maduras de color marrón, las más consumidas, los antioxidantes eran más débiles (Termentzi *et al.*, 2006). Científicamente se coincide en que al realizar un consumo diario de alimentos con propiedades antioxidantes se produce un efecto beneficioso para la salud humana (Aranda *et al.*, 2017). En este sentido, Termentzi *et al.* (2006) indican que el uso del extracto del fruto podría utilizarse como antioxidante natural sustitutivo en los productos alimentarios y en medicamentos, justificando el uso tradicional del fruto como alimento con propiedades beneficiosas para la salud.

El presente estudio tiene como principal objetivo profundizar en las características de los frutos de *Sorbus domestica*, para potenciar su consumo entre la población. En concreto se va a llevar a cabo la tipificación de la composición volátil de *Sorbus domestica* en tres estados de maduración, con el fin de conocer cuáles son sus características organolépticas relacionadas con los aromas y sabores. No se han encontrado referencias del perfil aromático de los frutos de *Sorbus domestica*, por ello, ante la falta de referencias de este tipo de estudios, se ha realizado en paralelo y como control el perfil aromático de una manzana fresca y madura, y el perfil aromático de un dulce de membrillo, ya que son alimentos que permiten comparar los resultados obtenidos.

Los compuestos volátiles juegan un papel muy importante en el flavor de los alimentos. Estos compuestos se agrupan en diversas familias químicas, siendo las más destacables los hidrocarburos, los aldehídos, las cetonas, los alcoholes, los ácidos carboxílicos, los ésteres y las lactonas. No se ha encontrado bibliografía respecto a la composición volátil del fruto del jerbo, por lo que el estudio sería pionero en este aspecto. No obstante, algunos autores como Vyviurska *et al.* (2015) y Galabova *et al.* (2022) han tratado de establecer un perfil volátil en bebidas destiladas producidas a partir de *S. domestica*, estableciendo la presencia de casi 100 compuestos aromáticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

El material vegetal para el estudio del perfil aromático son frutos de *Sorbus domestica* que muestran morfología diferente. Por un lado, frutos que presentan una forma similar a la de una manzana pequeña y frutos que se parecen en forma a una pequeña pera (figura 1 y 2, respectivamente). Ambos frutos mostraron dimensiones de entre 3 a 4 cm de diámetro.



FIGURA 1. Ecotipo tipo Manzana (verde y maduro) de *Sorbus domestica*

Los frutos proceden de una recolección de árboles difuminados de la provincia de Valladolid. La recolección se realizó a finales del mes de septiembre del año 2019, se recogieron frutos inmaduros (color verde) y se dejaron madurar y fermentar en condiciones de laboratorio. El perfil de componentes volátiles se realizó de los frutos completos, incluyendo piel y pulpa de los frutos, ya que se trata del total de la fracción comestible del fruto, en tres estados de maduración: 1) inmaduros (tres días desde su recolección),

en este estado la piel muestra tonalidades verdes y la pulpa verde-amarilla, 2) cuando los frutos se encontraban en un estado intermedio de maduración (color de la piel marrón y la pulpa firme, pero con viraje de color) y 3) frutos sobremadurados y fermentados (con piel y pulpa color marrón y pulpa muy cremosa). Este estado de sobremadurez se alcanzó aproximadamente transcurrido un mes desde la recolección y los frutos se mantuvieron entre papel de celulosa separados unos de otros.



FIGURA 2. Ecotipo tipo Pera (verde y maduro) de *Sorbus domestica*

Para la comparación de la composición volátil se empleó la manzana Red Delicious y el dulce de membrillo, ambos procedentes de mercados convencionales. Con ello se pretende realizar una comparativa de los diferentes perfiles, en concreto de una fruta fresca de alto consumo como la manzana y por otro lado, de un producto elaborado que podría estar muy en línea con el consumo de esta fruta.

Técnica analítica

Los análisis se han realizado mediante técnicas de cromatografía de gases (GC-MS) dado que permite determinar con gran sensibilidad los diferentes compuestos de una muestra formada por elementos volátiles. En este tipo de técnica la elución se produce por el flujo de un gas inerte como fase móvil, el cual no interacciona con las moléculas del analito.

La determinación de la fracción volátil se llevó a cabo en dos fases, en la primera de ellas se realizó la microextracción de los compuestos volátiles, en el espacio de cabeza, y en la segunda fase se llevó a cabo la determinación y cuantificación de los componentes.

Para el proceso de análisis de los componentes volátiles se ha utilizado un cromatógrafo de gases modelo 6890 N Network GC System acoplado directamente a un espectrofotómetro de masas modelo 5973 inert Mass selective, un detector con una columna capilar de sílice (5% fenyl-95% metilpolisiloxano como fase estacionaria) con dimensiones de 30 m × 0.251 mm × 0.25 mm, siendo el helio el gas portador con un flujo de 1 µL/min a 250 °C.

La determinación de los compuestos volátiles se realizó por un lado mediante una comparativa entre los espectros de masas obtenidos y el tiempo de retención de los estándares comerciales empleados. Y, por otro lado, se llevó a cabo una comparativa del grado de coincidencia de estos espectros volátiles con la biblioteca de espectros de masas NIST 2017. En el trabajo se consideraron como compuestos identificados aquellos cuyo espectro de masas presentaba una altura de más del 80% de similitud con los datos de NIST o de acuerdo a los estándares disponibles.

Para cada estado de maduración del ecotipo (manzana o pera) y cada producto de referencia (manzana y membrillo), se realizaron dos mediciones y posteriormente se tuvo en cuenta los valores medios de los datos obtenidos para la elaboración del informe.

Análisis estadístico

Además de realizarse una descripción de la fracción aromática de los diferentes frutos objeto de estudio, se ha realizado un estudio factorial para conocer qué grupo de las familias químicas de los compuestos aromáticos están relacionados entre sí. Para ello se efectúa un análisis factorial, empleando el programa Statgraphics 18.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Compuestos Volátiles

Se han detectado un total de 51 compuestos volátiles aromáticos, independientemente de las muestras analizadas. La tabla 2 muestra la abundancia de cada uno de los componentes aromáticos (área del pico) en función de la familia química correspondiente, para los frutos de *Sorbus domestica* en sus dos ecotipos (pera y manzana) y en los tres estados de maduración (inmaduro o verde, intermedio y fermentado o sobremaduro). También se muestra el área de pico de los componentes aromáticos para los dos controles (manzana y dulce de membrillo).

En general se observa que la complejidad aromática (mayor número de componentes aromáticos) es superior en los frutos de *Sorbus domestica*, mostrando componentes en todas las familias químicas volátiles detectadas, sobre todo en el caso de los alcoholes y los aldehídos.

TABLA 2. Concentración de compuestos volátiles (ésteres, sesquiterpenos, compuestos nitrogenados y de azufre, monoterpenos, alcoholes y aldehídos) en las muestras.

Compuestos	Tipo PERA			Tipo MANZANA			Manzana	Dulce de membrillo
	Inmaduro	Intermedio	Fermenta	Inmaduro	Intermedio	Fermenta		
Ésteres								
Acetato de butilo	201371	244531	232950	789616	257836	184794	1586966	-
Hexanoato de metilo	526370	573676	-	229478	-	-	213292	-
Acetato de hexilo	795178	989357	522033	541894	867178	1252271	62569049	-
Octanoato de metilo	300371	395244	-	237568	314005	261283	-	-
Octanoato de etilo	-	320887	180627	-	229699	302392	-	-
Nonanoato de metilo	122895	283312	120137	-	92281	-	-	-
Nonanoato de etilo	-	-	177752	-	-	-	-	-
Sesquiterpenos								
β-Cariofileno	-	-	-	-	260628	-	-	-
α-Farneseno	8144845	2764468	1547869	3805013	2038078	2074980	-	634072
δ-Cadineno	-	-	-	91626	69309	-	258304	-
Compuestos nitrogenados y de azufre								
Dialil disulfuro	1265023	598103	-	307530	283120	-	-	-
Monoterpenos								
Linalol	800686	695598	-	495238	382048	-	-	-
Epoxi linalol	-	2195038	839462	198099	86076	-	-	-
β-Citronelol	390175	255041	-	260750	275031	-	-	-
Alcoholes								
3-metil-1-butanol	1491569	3350015	1640351	-	2435692	2343411	-	13180976
2-metil-1-butanol	1591232	3001042	1647042	-	2640325	2944958	8163297	5553451
1-pentanol	1776677	2039954	473757	1218464	574157	393953	-	-
Cis-3-hexenol	612071	532842	-	414692	230690	-	-	-
1-hexanol	41381771	43509751	11873180	37689036	26168217	19021144	14529098	1088328
1-heptanol	399695	759206	283994	439275	281972	420436	-	-
6-metil-5-hepten-2-ol	383901	288629	-	359806	361482	-	-	-
3-octanol	819601	478497	-	589117	362962	-	-	-
Alcohol bencílico	-	601930	1192326	-	170637	367475	-	4662011
1-octanol	5413209	3819431	1295853	3881671	2701244	2707024	-	-
Alcohol fenético	1453532	5193470	3859474	1416019	3944240	11285570	-	13867763
1,3-octanodiol	7381152	16502445	7084529	15428430	9667493	11171721	-	-
Aldehídos								
Hexanal	13476820	4402289	723240	1313810	1015036	435212	330730	2812027
2-hexenal	2747567	167188	-	346 088	-	-	898460	-
Heptanal	150539	153191	-	197203	79585	-	-	618069
Cis-2-heptenal	270732	5483829	-	676222	867993	-	-	19789839
Benzaldehído	5611849	5845498	4285459	1881019	2118585	805274	-	3767820
Fenilacetaldhído	13945945	25088015	5345324	9460523	8107660	798605	-	-
(E)-2-octenal	654747	1119692	378240	841449	752875	557209	-	14040188
Nonanal	6105452	10361076	2953472	2981407	2138868	1576909	-	5640046
Decanal	262267	395273	72087	258344	170820	-	-	-

TABLA 2 (continuación). Concentración de compuestos volátiles (cetonas y metilcetonas, carotenoides, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcanos, ácidos carboxílicos, heterociclos y otros componentes) en las muestras.

Compuestos	Tipo PERA			Tipo MANZANA			Manzana	Dulce de membrillo
	Inmaduro	Intermedio	Fermenta	Inmaduro	Intermedio	Fermenta		
Cetonas y metilcetonas								
2-heptanona	-	309496	133763	509399	-	678660	-	-
Acetofenona	-	-	-	81913	-	115267	-	-
Norcarotenoides								
6-metil-5-hepten-2-ona	2964577	2346587	-	501615	641084	-	-	6792854
Hidrocarburos alifáticos y aromáticos								
2-Metilnaftaleno	282852	476769	-	666617	182268	625754	-	-
1-Metilnaftaleno	146318	-	-	188712	98807	-	-	-
Alcanos								
Tetradecano	119211	-	-	166395	133919	112367	-	-
Ácidos carboxílicos								
Ácido hexanoico	512228	-	-	856215	783045	-	-	-
Ácido nonanoico	1093133	821358	426244	-	-	523948	56231	-
Ácido láurico	1234919	1609100	1426837	710617	573243	1483278	1004693	7058074
Heterociclos								
γ-hexalactona	280299	277765	86494	-	177947	151114	-	-
γ-nonolactona	248247	304259	136212	165362	128508	96091	-	-
γ-decalactona	403283	573009	240870	660679	435258	500542	-	-
Otros								
2,4,5-trimetil-1,3-dioxolano	36393568	47813829	12566854	14247782	21721358	7677704	-	-
2-pentilfuranol	279519	560262	175709	394044	260116	-	-	-
Óxido de rosa	447408	370392	104416	311293	287273	-	-	-
Alcanfor	1071802	1428074	750101	999301	2027050	2388385	-	-

En el caso de *Sorbus domestica* tipo pera se detectaron 43 compuestos en el estado inmaduro, 44 componentes en el estado intermedio y 42 componentes en el estado de maduración/fermentación. De forma similar, en el caso del tipo manzana, se detectaron un total de 42, 45 y 30 compuestos para cada uno de los estados de maduración, respectivamente.

Estos resultados ponen de manifiesto que el estado intermedio de maduración es el más complejo por la abundancia de compuestos aromáticos, mientras que el estado de sobremaduración, estado en el cual se consumen habitualmente los frutos, es el que menor cantidad de compuestos volátiles presenta, independientemente del ecotipo, siendo más manifiesta la pérdida de aromaticidad en los frutos de *Sorbus domestica* del tipo manzana. Rosend *et al.* (2019) al estudiar los componentes aromáticos de manzanas en los tres estados de maduración también indican que el perfil de la sobremaduración se aparta del perfil aromático de los estados previos.

Al realizar el análisis de la manzana Red Delicious y del dulce de membrillo, se han detectado únicamente 10 y 14 compuestos aromáticos, respectivamente. Esta disminución en el caso de los alimentos control es debida a la naturaleza comercial de los frutos de manzana, que han pasado

por procesos con cambios de temperatura donde han podido perder parte de su fracción volátil original, y en el caso del dulce de membrillo por tratarse de un alimento transformado, donde el efecto de la temperatura de elaboración ha podido influir en la pérdida de los componentes volátiles de la fruta original.

Los compuestos con mayor presencia en la mayoría de los frutos de *Sorbus domestica* son 1-hexanol (presente entre el 19% y el 35.4% del total de los componentes aromáticos), 1,3-octanodiol (oscila entre el 4.5% en los frutos tipo pera en estado inmadura hasta el 15% en el tipo manzana en estado de sobremaduración), fenilacetaldehído (entre el 1.1% en los frutos tipo manzana sobremaduros hasta el 12.5% del total de los componentes aromáticos en el tipo pera en estado intermedio) y el 2,4,5-trimetil-1,3-dioxolano (con variaciones entre el 10.5% frente al total de los aromas detectados en los frutos de *Sorbus domestica* tipo manzana en estado de sobresaturación y el 24% en los frutos tipo pera en estado intermedio). Este compuesto ha sido detectado en frutos del bosque, vino y cerveza y está relacionado con notas de sabor fenólicas y astringentes/secantes (Peppard y Halsey, 1982), que no aparecen ni en la manzana comercial, ni en el dulce de membrillo. El 2,4,5-trimetil-1,3-dioxolano se ha identificado como un metabolito secundario, por lo que puede desempeñar un papel en la defensa celular.

Por lo general, los alcoholes son componentes que se producen tras los procesos de fermentación anaeróbica de los azúcares de la fruta. Habitualmente presentan olores intensos y pungentes que contribuyen significativamente a los diversos compuestos de sabor. Además, los alcoholes son precursores en la síntesis de los ésteres. El presente estudio ha mostrado que los frutos de *Sorbus domestica* contienen niveles abundantes de compuestos de sabor alcohólicos, coincidente con lo mostrado para el caso de manzanas y sidras por otros autores (Venkatachalam *et al.*, 2018). Entre los diversos alcoholes, el hexanol y 1,3-octanodiol predominaron en los frutos tipo pera en estado intermedio de maduración, mientras que, en los frutos tipo manzana en el estado intermedio, el alcohol predominante sigue siendo el hexanol y el secundario es el alcohol fenético que es un producto procedente de la degradación de los fenilpropanoides, y se caracteriza porque tiene aroma floral que recuerda al de las rosas (Wang *et al.*, 2022).

En general, la presencia de estos compuestos les confiere características organolépticas relacionadas con el olor dulce, verde y floral. Además, también les confieren sabor afrutado y amargo.

Otro aspecto destacable son las concentraciones de fenilacetaldehído y de nonanal (aldehídos) en el estado de maduración intermedia de los dos ecotipos. El fenilacetaldehído está relacionado con aromas florales debido a su carácter dulce parecido a la miel y el nonanal con aromas a rosas y cítricos.

Además, el ecotipo pera en estado verde presenta cantidades significativas de hexanal y α -farneseno, los cuales le confieren características organolépticas florales, frescas, a madera y a cítricos. La reducida presencia de nonanoato de metilo le proporciona ligeras notas a fruta inmadura y a vino. El acetato de butilo es el compuesto menos presente en su composición y, gracias a él, tiene un ligero aroma afrutado, dulce y tropical. Finalmente, en el caso del estado de sobremadurez, es el benzaldehído uno de los compuestos

más significativos y que le otorga un olor leñoso y almendrado. La reducida presencia de decanal le proporciona notas cítricas, sobre todo a naranja.

En el caso del ecotipo manzana se resalta el aroma afrutado y cítrico gracias a la presencia de 1-octanol y se aprecia ligeros toques a vainilla y mazapán por la reducida presencia de la acetofenona. La composición del fruto en estado intermedio varía, igual que se ha visto en los casos anteriores, y por ello en este estado puede apreciarse un aroma más floral y dulce debido a su proporción del alcohol fenílico. Sin embargo, también contiene una sutil cantidad de 1-metilnaftaleno que le proporciona un aroma químico y medicinal. Finalmente, el estado más maduro del fruto es en el que mayor cantidad de alcohol fenílico se encuentra, por lo que esos olores florales y sabores dulces se intensifican. En este caso la γ -nonalactona está presente en una cantidad muy reducida y por ello se pueden apreciar ligeras notas a coco.

Para el caso de la manzana comercial, destaca significativamente la alta concentración del acetato de hexilo, esta sustancia con aroma frutal se emplea en productos fitosanitarios por su capacidad antimicrobiana y puede usarse para que las frutas mínimamente procesadas, como las manzanas, sean más seguras de consumir. Es posible que esta sustancia se encuentre en la fruta de forma intencionada, ya que las concentraciones son muy altas y la manzana procede de un mercado convencional. En relación a esta manipulación de la fruta de manzana destacar también la presencia del ácido nonanoico que es característico de toques cerosos y grasos, posiblemente debido a algún tratamiento poscosecha realizado sobre la manzana Red Delicious comercial. El perfil volátil de esta fruta es más pobre y no se muestra la presencia de compuestos como el 1,3-octanodiol, fenilacetaldehído o el 2,4,5-trimetil-1,3-dioxolano, relacionados con la fracción aromática de la manzana. Sí que contiene cantidades de 2-metil-1-butanol, el cual le proporciona un aroma propio del vino y del whisky.

Para el caso del dulce de membrillo destacan las concentraciones del alcohol fenílico y del 2-heptenal que ha sido descrito como un olor a fruta verde, y un sabor dulce, fresco o parecido a la manzana. También son destacables las concentraciones del isómero (E)-2-octenal que le confiere un aroma graso con sabor a pepino. El dulce de membrillo presenta gran cantidad de 3-metil-1-butanol que le proporciona un perfil aromático afrutado con sabor a plátano y coñac. Sin embargo, el compuesto con menor presencia en el membrillo es el heptanal que le resta toques frescos y verdes, con sabor a cilantro y trébol, posiblemente debido al tratamiento térmico que elimina estos componentes. Destaca la menor concentración de 1-hexanol en comparación al fruto de *Sorbus* y a la manzana Red Delicious, por lo que será menos notable ese aroma dulce y verde característico del compuesto. En este caso tampoco aparecen los compuestos 1,3-octanodiol, fenilacetaldehído y el 2,4,5-trimetil-1,3-dioxolano.

La tabla 3 muestra la concentración de los componentes aromáticos de los frutos de *Sorbus domestica* en función de las familias químicas identificadas para los correspondientes componentes según sus características, en cada ecotipo del fruto y en los tres estados de maduración.

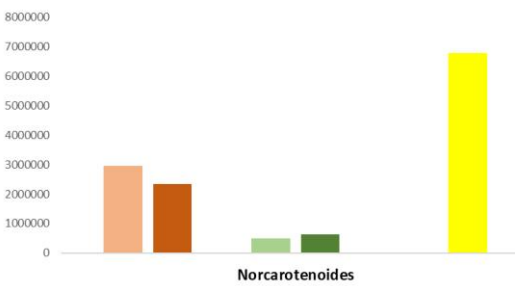
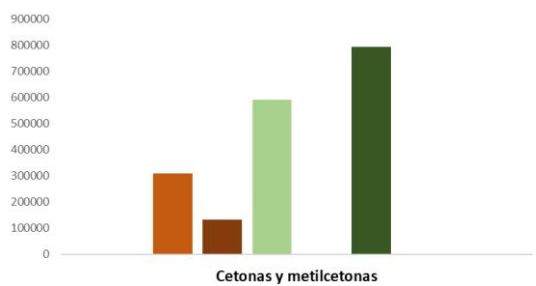
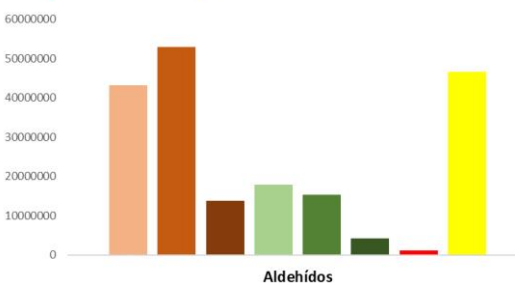
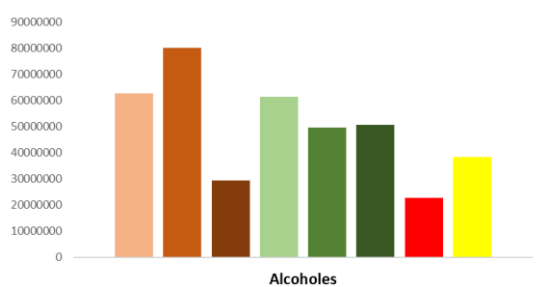
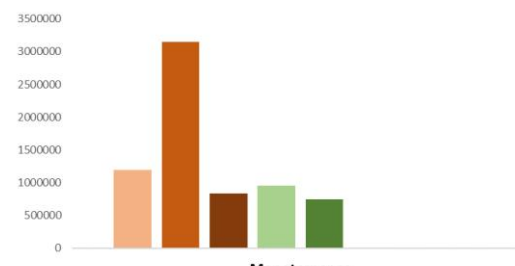
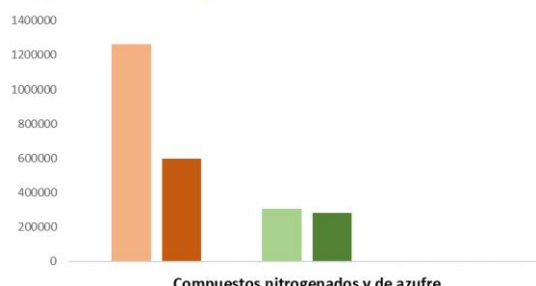
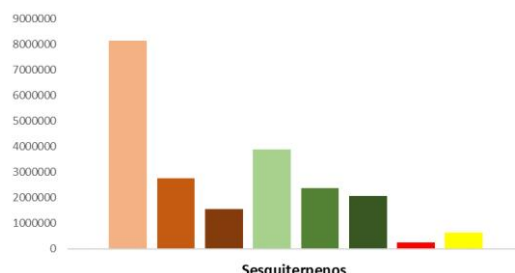
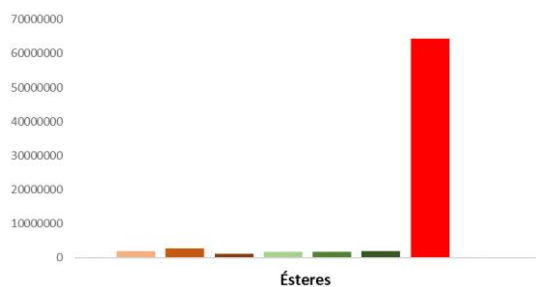
En total se han identificado 13 familias fisicoquímicas, siendo el estado inmaduro de los frutos del ecotipo manzana, los que muestran la mayor complejidad aromática al presentar todos estos componentes. Los componentes cetónicos no se detectan en los frutos inmaduros del ecotipo pera, y tampoco en los frutos del ecotipo manzana en el estado de maduración intermedia. En este estado intermedio para los frutos del ecotipo pera no se detectan los alcanos. Por último, en el estado de sobremadurez, los frutos del ecotipo pera no muestran la presencia de alcanos, hidrocarburos y compuestos nitrogenados y derivados del azufre, y en los frutos del ecotipo manzana no se detectan componentes de la familia de los carotenoides, de los compuestos nitrogenados y derivados del azufre y de los monoterpenos.

TABLA 3. Concentración de compuestos volátiles agrupados en familias químicas para los frutos de *Sorbus domestica* en los tres momentos de maduración.

COMPUESTOS	Tipo PERA			Tipo MANZANA		
	Inmaduro	Intermedio	Fermentado	Inmaduro	Intermedio	Fermentado
Ésteres	1946184	2807006	1233499	1798556	1760999	2000739
Sesquiterpenos	8144845	2764468	1547869	3896639	2368014	2074980
Compuestos nitrogenados y de azufre	1265023	598103	-	307530	283120	-
Monoterpenos	1190860	3145676	839462	954087	743155	-
Alcoholes	62704406	80077210	29350504	61436509	49539110	50655691
Aldehídos	43225916	53016050	13757821	17956064	15251421	4173208
Cetonas y metilcetonas	-	309496	133763	591312	-	793926
Norcarotenoides	2964577	2346587	-	501615	641084	-
Hidrocarburos alifáticos y aromáticos	429170	476769	-	855329	281075	625754
Alcanos	119211	-	-	166395	133919	112367
Ácidos carboxílicos	2840280	2430458	1853081	1566832	1356288	2007226
Heterociclos	931828	1155032	463576	826040	741713	747747
Otros	38192296	50172557	13597080	15952419	6073949	5033044

Los tres grupos con mayor presencia son los alcoholes, con aromas florales, frutales, químicos, vegetales y sabor dulce, los aldehídos principalmente aportando aromas frutales, y los sesquiterpenos. La familia química con menor presencia de componentes aromáticos en los dos ecotipos de *Sorbus domestica* es la de los alcanos.

La figura 3 muestra agrupados por familias químicas, la evolución de los componentes en función del estado de madurez (inmaduro, intermedio y fermentado o sobremaduro) de los frutos de *Sorbus domestica* para los dos ecotipos (pera y manzana) y los componentes de los grupos químicos homólogos para el caso de la manzana fresca Red Delicious y del dulce de membrillo.



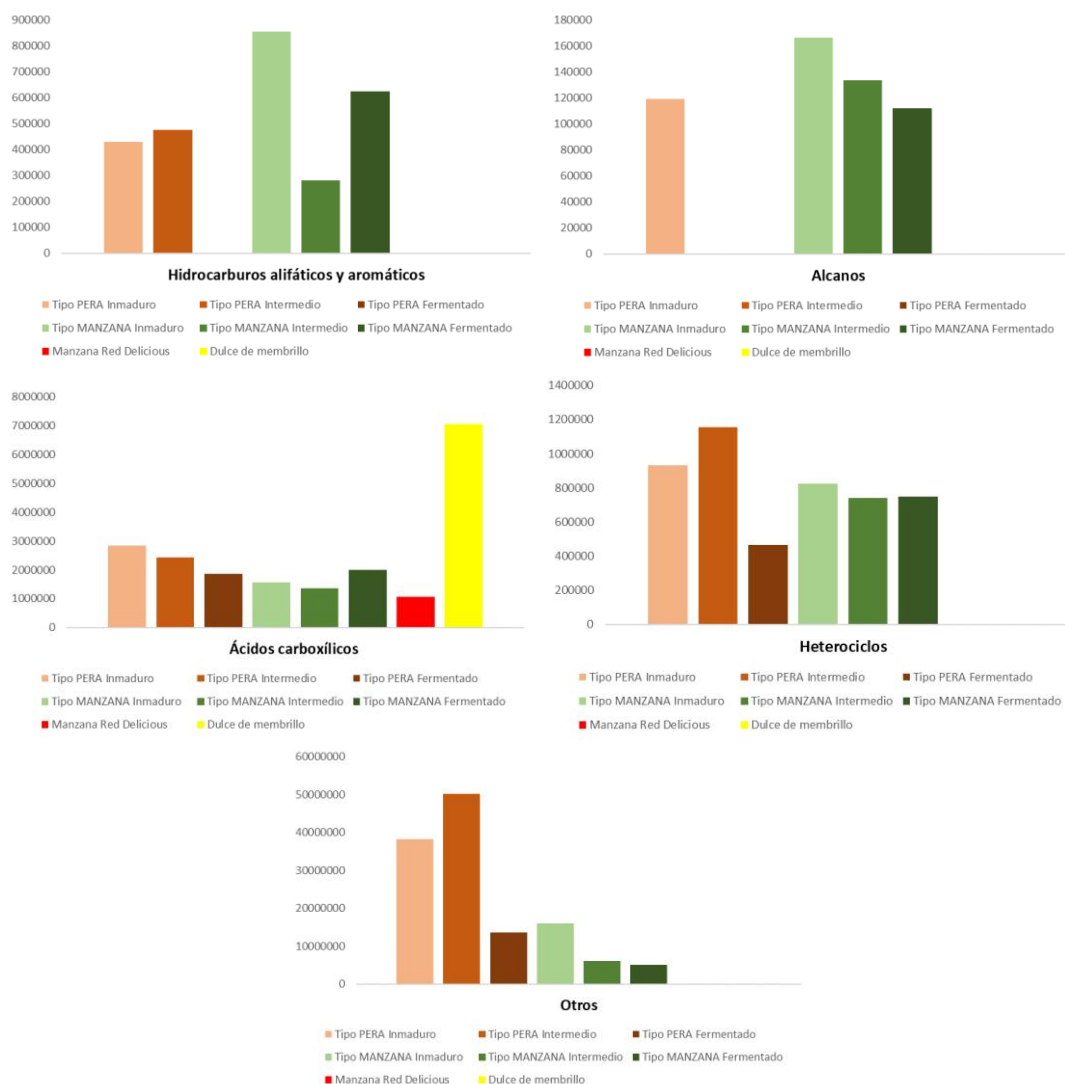


Figura 3. Evolución de los compuestos volátiles agrupados por familias químicas en los frutos de *Sorbus domestica*, en los dos ecotipos y comparación con frutas de manzana Red Delicious y dulce de membrillo.

Se observa que los ésteres están presentes en todos los estados de maduración de los frutos del *Sorbus domestica* y en los dos ecotipos, siendo mayores las concentraciones en el estado intermedio para el caso del ecotipo pera, y para el ecotipo manzana los niveles son muy similares en los tres momentos, con ligeros incrementos en la sobremaduración. En el dulce de membrillo no se detectan estos compuestos químicos y en el caso de la manzana fresca los valores son excepcionalmente altos, debido a la presencia del acetato de hexilo ya comentado.

Para el caso de los sesquiterpenos se observa que el perfil es idéntico en los dos ecotipos, siendo las concentraciones superiores en el estado inmaduro de los frutos, y disminuyendo a medida que avanza el estado de maduración y fermentación natural. Para el caso de la manzana y el dulce de membrillo los niveles totales de sesquiterpenos son muy bajos, en comparación con los presentes en los frutos de *Sorbus domestica*. Los compuestos nitrogenados y derivados del azufre sólo aparecen en los frutos de *Sorbus domestica*

observándose una evolución similar en ambos ecotipos, es decir, aparecen en el momento intermedio de la maduración, posiblemente debido a la transformación de aminoácidos azufrados de esta fruta, presente en el estado inmaduro o verde. Estos compuestos tienen su punto máximo en el momento más inmaduro y con el proceso de maduración se degradan o volatilizan, dejando una marcada ausencia en el momento de la sobremaduración. En cualquier caso, los valores son superiores en el ecotipo pera.

Los monoterpenos son otro tipo de compuestos que no aparecen en la manzana fresca ni en el dulce de membrillo, sino únicamente aparecen en los frutos de *Sorbus domestica*, siendo también las concentraciones superiores en el ecotipo pera. En concreto, en este ecotipo aparecen concentraciones en los tres estados de maduración, siendo notablemente superiores en el momento intermedio, y disminuyendo en la sobremaduración. Mientras que en el ecotipo manzana, los componentes monoterpénicos desaparecen por completo en la sobremaduración.

Los alcoholes son compuestos que aparecen en todas las muestras, siendo la manzana fresca Red Delicious la muestra donde las concentraciones son más bajas. Para los frutos de *Sorbus domestica* tipo pera se observa una evolución de campana, con un máximo de concentraciones en el momento intermedio de maduración. Para los frutos del ecotipo manzana los alcoholes no disminuyen con respecto a los valores presentes en el momento intermedio de la maduración, lo que significa que posiblemente para que disminuyan estos componentes se necesitan mayores tiempos de maduración. Los alcoholes presentes en el dulce de membrillo son superiores a los de la manzana fresca y superiores también a los niveles del ecotipo pera en el estado de sobremaduración. En concreto existen dos componentes alcohólicos que se encuentran en todas las muestras que son el 2-metil-1-butanol el cual confiere un sabor próximo al whisky y al cacao y, por otro lado, el 1-hexanol el cual le da un sabor afrutado y olor dulce al alimento.

Los aldehídos se detectan en todas las muestras estudiadas. Los frutos de *Sorbus domestica* tipo pera nuevamente presentan una evolución tipo campana, con la máxima concentración en el momento intermedio, mientras que en el ecotipo manzana la evolución observada es una disminución de la concentración de los componentes a medida que avanza la maduración/fermentación de los frutos. En el caso de la manzana fresca, los componentes aldehídos son muy reducidos, mientras que en el caso del dulce de membrillo los niveles de aldehídos son excepcionalmente altos, posiblemente debido a los procesos de oxidación que se producen en la transformación alimentaria (Silva *et al.*, 2004).

Las cetonas y metilcetonas son componentes que aparecen de forma puntual posiblemente debido a la oxidación de algunos alcoholes. No están presentes la manzana Red Delicious y tampoco aparecen en el dulce de membrillo. Para los frutos de *Sorbus domestica* tipo pera, aparecen en el momento intermedio y en el momento de sobremaduración, siendo los valores más bajos en este momento. Para el caso de los frutos de *Sorbus domestica* tipo manzana, los compuestos son mayores, es decir, este ecotipo puede ser más susceptible a la oxidación, apareciendo los compuestos en el momento

inmaduro de los frutos e incrementándose en el momento de la sobremaduración.

Los compuestos carotenoides no aparecen en el momento de la sobremaduración de los frutos de *Sorbus domestica*, siendo las concentraciones en ambos ecotipos bajos y más bajos para el tipo Manzana, además disminuyen con la maduración posiblemente debido a la degradación de estos pigmentos. Son compuestos que no aparecen en la fruta fresca de manzana y son significativamente altos en el dulce de membrillo, posiblemente debido a que la cocción convencional para la elaboración del dulce de membrillo, puede incrementar el contenido de carotenoides como consecuencia de una mejor extracción por exposición del contenido celular (Nistor *et al.*, 2022).

Los hidrocarburos alifáticos y aromáticos no se detectan en la fruta fresca de manzana ni en el dulce de membrillo. En los frutos de *Sorbus domestica* aparecen a medida que se produce la maduración/fermentación de la fruta, aunque en el ecotipo manzana se observan concentraciones altas en el momento de la fruta inmadura, de forma que en esta fruta las mayores concentraciones son en el estado inmaduro, disminuyen en el intermedio y se vuelven a incrementar en la sobremaduración. Los alcanos que tampoco aparecen en los alimentos control, aparecen en el momento inmaduro de las frutas de *Sorbus domestica*, desapareciendo en las posteriores etapas para el ecotipo pera y reduciéndose de forma paulatina en el ecotipo manzana, apareciendo concentraciones de estos compuestos en el momento de sobremaduración para este ecotipo.

Los ácidos carboxílicos son compuestos que se forman por la oxidación de alcoholes y otros compuestos oxigenados. Presentan una degradación evolutiva a medida que avanza el estado de maduración en el ecotipo pera, y también se observa pérdida desde el momento inicial al intermedio para los frutos del ecotipo manzana, aunque en la sobremaduración se incrementan ligeramente. Los frutos de manzana Red Delicious presentan niveles bajos de estos ácidos grasos, mientras que para el dulce de membrillo las concentraciones son altas, estas variaciones principalmente se deben a la presencia del ácido láurico que es un ácido graso saturado con un característico aroma a coco.

Por último, los heterociclos y el resto de compuestos (grupo otros) que aparecen tras el análisis cromatográfico muestran una evolutiva muy similar. Aparecen exclusivamente en los frutos de *Sorbus domestica*, siendo la evolución del ecotipo pera de forma de campana, con un máximo en el momento intermedio, mientras que en el ecotipo manzana en el estado inicial las concentraciones son mayores y en el estado intermedio y en la sobremaduración estos componentes se estabilizan.

Para completar el estudio se evalúa que grupo de las familias químicas de los compuestos volátiles estudiados están relacionados entre sí, para ello se efectúa un análisis factorial. El análisis factorial es una técnica multivariante que utiliza un procedimiento que permite descomponer una matriz de correlaciones en unos pocos factores que son combinación lineal de los volátiles analizados en los frutos, y que explican las correlaciones entre dichos parámetros. Es decir, el análisis factorial se utiliza para el evaluar e interpretar

las correlaciones encontradas entre un grupo de parámetros, con la finalidad de descubrir los posibles factores comunes a todos ellos. Los parámetros que tienen la máxima correlación entre sí y que son además suficientemente independientes de otros, se agrupan en factores. Cada factor está constituido por una combinación lineal de un subconjunto de los parámetros originales y es independiente de los otros factores.

Se ha obtenido un modelo con cuatro factores principales, con los cuales se consigue explicar el 96.57% de la variabilidad en los datos originales (tabla 4).

TABLA 4. Análisis de componentes principales de los compuestos volátiles para los frutos de *Sorbus domestica*.

Componente	Eigenvalor	Varianza (%)	Varianza acumulad (%)
1	6.39266	49.174	49.174
2	3.45289	26.561	75.735
3	1.44523	11.117	86.852
4	1.2625	9.712	96.564
5	0.258952	1.992	98.556
6	0.151641	1.166	99.722
7	0.0361158	0.278	100.000
8	5.20897E-16	0.000	100.000

Las muestras estudiadas en este trabajo permiten la clasificación de tres categorías (figura 4), la que presenta bajos valores del factor 1 y bajos del factor 2, se caracteriza principalmente por su alto contenido en compuestos carotenoides y ácidos grasos, en este grupo se englobaría el dulce de membrillo. La que presenta altos valores del factor 1 y del factor 2, se caracteriza principalmente por altos valores en ésteres, alcoholes y heterociclos, en este grupo se engloba los frutos de *Sorbus domestica* tipo pera en el estado intermedio. Por último, la categoría con valores altos del factor 2 y neutros del 1, en este grupo se incluirían valores altos de hidrocarburos aromáticos y de cetonas, y en este grupo se incluirían los frutos de *Sorbus domestica* tipo manzana en el estado de sobremaduración.

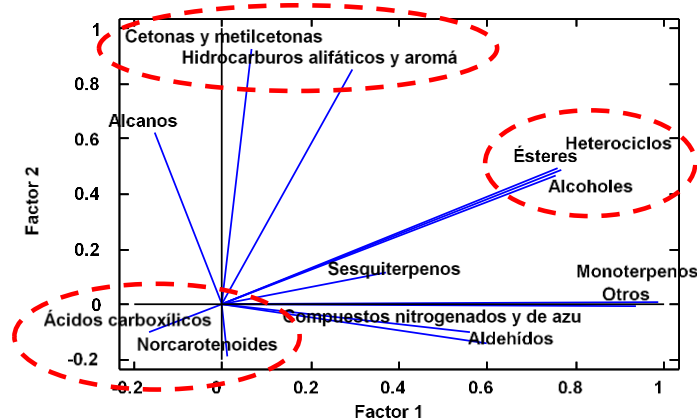


FIGURA 4. Gráfico de dispersión de los pesos de los factores principales de las familias químicas de aromas en *Sorbus domestica*.

CONCLUSIONES

Las frutas, además de ser nutricionalmente adecuadas, han de resultar apetecibles desde el punto de vista sensorial. Para alcanzar este punto de aceptación para el consumo, organolépticamente las frutas deben tener una textura concreta, un olor característico, un sabor agradable y un aroma que invite a degustarlos. Es sabido que el aroma es una propiedad organoléptica que viene dada por diferentes sustancias volátiles.

Los frutos de *Sorbus domestica* se podrían introducir de nuevo en el consumo de frutos de temporalidad ya que se han caracterizado por presentar una compleja fracción aromática, en los tres estados de maduración, predominando los compuestos de las familias químicas de los alcoholes aromáticos y los aldehídos. En concreto la presencia del 1-hexanol le confiere aromas frescos, verdes, afrutados, el fenilacetaldhído proporciona aromas florales a los frutos y el 2,4,5-trimetil-1,3-dioxolano, que además de ser bioactivo, aporta tonos astringentes a los frutos y su presencia disminuye con la maduración, pero sin desaparecer. La manzana fresca y el dulce de membrillo usados como control presentan concentraciones más bajas.

La fracción volátil del dulce de membrillo es diferente a la de los frutos de *Sorbus domestica* y comparte algunos grupos aromáticos con la fruta fresca de la manzana. *Sorbus* se trata de forma mayoritaria de frutos muy particulares en el perfil aromático, con potencialidad para incluirse en los mercados y generar alternativas de producción y de consumo a la par que se recupera patrimonio alimentario.

REFERENCIAS

- Aranda, A.G., Araque, A.F., Rodríguez, R.C., Aragües, A.R. (2017). Glaucoma y antioxidantes: revisión sistemática. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 91(3): 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.mexoft.2016.03.007>
- Bvenura, C., Sivakumar, D. (2017). The role of wild fruits and vegetables in delivering a balanced and healthy diet. *Food Research International*, 99: 15-30. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.046>
- Cáceres Escudero, Y. (2020). *Sorbus domestica* L. (Rosaceae) en Extremadura (España). *Acta Botanica Malacitana*, 45. <https://dx.doi.org/10.24310/abm.v45i0.5450>
- Chicaiza Ruiz, G.A. (2020). Tipificación nutricional de frutos de *Sorbus Domestica*. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/157902>
- Fukalova Fukalova, T., García-Martínez, M.D., Raigón, M.D. (2022). Nutritional Composition, Bioactive Compounds, and Volatiles Profile Characterization of Two Edible Undervalued Plants: *Portulaca oleracea* L. and *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. *Plants*, 11, 377. <https://doi.org/10.3390/plants11030377>
- Galabova, M., Stoyanov, N., Mitev, P. (2022). Primary studies of the composition of distillate beverages produced from *Sorbus domestica* fruits. *BIO Web of Conferences*, 45: 01012. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224501012>
- García-Fayos, P., Gulias, J., Martínez, J., Marzo, A., Melero, J.P., Traveset, A., ... Medrano, H. (2002). Bases ecológicas para la recolección, almacenamiento y germinación de semillas de especies de uso forestal de la Comunidad Valenciana. *Banc de Llavors Forestals (Conselleria de Medi Ambient, Generalitat Valenciana)*, 91 pp.
- Kültür, Ş. (2007). Medicinal plants used in Kırklareli province (Turkey). *Journal of ethnopharmacology*, 111(2): 341-364. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.11.035>

- Lim, T.K. (2012). Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants. *Springer Science & Business Media*: New York, NY, USA, Volume 1, pp. 656–687. ISBN 978-94-007-4052-5.
- Majić, B., Šola, I., Likić, S., Juranović Cindrić, I., Rusak, G. (2015). Characterisation of *Sorbus domestica* L. bark, fruits and seeds: Nutrient composition and antioxidant activity. *Food Technology and Biotechnology*, 53(4): 463-471. <https://doi.org/10.17133/ftb.53.04.15.4001>
- Matczak, M., Marchelak, A., Michel, P., Owczarek, A., Piszczan, A., Kolodziejczyk-Czepas, J., Olszewska, M.A. (2018). *Sorbus domestica* L. leaf extracts as functional products: Phytochemical profiling, cellular safety, pro-inflammatory enzymes inhibition and protective effects against oxidative stress in vitro. *Journal of Functional Foods*, 40: 207-218. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.10.046>
- Morales Valverde, R., Tardío, J., Pardo de Santayana, M., Molina, M., Aceituno-Mata, L. (2011). Biodiversidad y Etnobotánica en España. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 9:157-207.
- Nistor, O.V., Mocanu, G.D., Andronoiu, D.G., Barbu, V.V., Ceclu, L. (2022). A Complex Characterization of Pumpkin and Quince Purees Obtained by a Combination of Freezing and Conventional Cooking. *Foods*, 11(14), 2038. <https://doi.org/10.3390/foods11142038>
- Oria de Rueda, J.A., Martínez de Azagra, A., Álvarez Nieto, A. (2006). Botánica forestal del género *Sorbus* en España. *Sist. Recur. For.*, 15, S166-S186.
- Peppard, T.L., Halsey, S.A. (1982). The occurrence of two geometrical isomers of 2,4,5-trimethyl-1,3-dioxolane in beer. *J. Inst. Brew.*, 88: 309-312. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1982.tb04113.x>
- Poljak, I., Vahčić, N., Liber, Z., Tumpa, K., Pintar, V., Zegnal, I., Idžojtić, M. (2021). Morphological and chemical diversity and antioxidant capacity of the service tree (*Sorbus domestica* L.) fruits from two eco-geographical regions. *Plants*, 10(8), 1691. <https://doi.org/10.3390/plants10081691>
- Rosend, J., Kuldjäv, R., Rosenvald, S., Paalme, T. (2019). The effects of apple variety, ripening stage, and yeast strain on the volatile composition of apple cider. *Heliyon*, 5(6), e01953. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01953>
- Rotach, P. (2003). EUFORGEN. Technical Guidelines for genetic conservation and use for service tree (*Sorbus domestica*). *International Plant Genetic Resources Institute*. Roma.
- Sardeshpande, M., Shackleton, C. (2019). Wild edible fruits: a systematic review of an under-researched multifunctional NTFP (non-timber forest product). *Forests*, 10(6), 467. <https://doi.org/10.3390/f10060467>
- Šenkál, B.C. (2020). The role of secondary metabolites obtained from medicinal and aromatic plants in our lives. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 4(4): 1071-1079. <https://doi.org/10.46291/ISPECJASvol4iss4pp1069-1077>
- Silva, B.M., Andrade, P.B., Valentão, P., Ferreres, F., Seabra, R.M., Ferreira, M.A. (2004). Quince (*Cydonia oblonga* Miller) fruit (pulp, peel, and seed) and jam: antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(15), 4705-4712. <https://doi.org/10.1021/jf040057v>
- Snow, B.K., Snow, D.W. (1988). Birds and berries. T. and A.D Poyser, Calton. 268 pp.
- Termentzi, A., Kefalas, P., Kokkalou, E. (2006). Antioxidant activities of various extracts and fractions of *Sorbus domestica* fruits at different maturity stages. *Food chemistry*, 98(4): 599-608. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.06.025>
- Termentzi, A., Kefalas, P., Kokkalou, E. (2008). LC–DAD–MS (ESI+) analysis of the phenolic content of *Sorbus domestica* fruits in relation to their maturity stage. *Food chemistry*, 106(3), 1234-1245. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.021>
- Venkatachalam, K., Techakanon, C., Thitithanakul, S. (2018). Impact of the ripening stage of wax apples on chemical profiles of juice and cider. *ACS omega*, 3(6), 6710-6718. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b00680>
- Vyviurska, O., Pysarevska, S., Jánošková, N., Špánik, I. (2015). Comprehensive two-dimensional gas chromatographic analysis of volatile organic compounds in distillate of fermented *Sorbus domestica* fruit. *Open Chemistry*, 13(1): 96–104. <https://doi.org/10.1515/chem-2015-0007>
- Wang, Q., Qin, D., Huang, G., Jiang, X., Fang, K., Wang, Q., ...Wu, H. (2022). Identification and characterization of the key volatile flavor compounds in black teas from distinct regions worldwide. *Journal of Food Science*, 87: 3433–3446. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16248>