

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS



**“VARIACIÓN DEL PERFIL NUTRICIONAL EN VEGETALES FRESCOS Y
CONSERVAS VEGETALES”**

TRABAJO FIN DE GRADO

03-2025

Autor: David Sempere Bru

Tutor: Domingo Jesús Martínez Romero

Co-tutor: Juan Miguel Valverde Veracruz



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

VARIACIÓN DEL PERFIL NUTRICIONAL EN VEGETALES FRESCOS Y CONSERVAS VEGETALES.

RESUMEN: En el presente estudio se ha analizado la importancia de los vegetales en la dieta, destacando el tomate y su aporte de vitamina C y carotenoides, concretamente licopeno y β -caroteno. Se ha estudiado cómo estos compuestos antioxidantes proporcionan beneficios en la salud y favorecen en la prevención de enfermedades crónicas. Se han valorado diferentes métodos de procesamiento de tomate para la obtención de conservas, observando la variación nutricional que tiene lugar como consecuencia de los tratamientos. Se determina que la vitamina C reduce su concentración en tratamientos de altas temperaturas, pero la biodisponibilidad del licopeno aumenta. Se aportan datos estadísticos sobre el consumo y producción de vegetales frescos y en conserva, así como de tomate fresco y en conserva, determinando que el tomate y las conservas de tomate son los productos vegetales más demandados.

Palabras clave: hortalizas, tomate, vitamina C, licopeno, β -caroteno.

VARIATION OF THE NUTRITIONAL PROFILE IN FRESH VEGETABLES AND CANNED VEGETABLES.

ABSTRACT: This study analyses the importance of vegetables in the diet, with a focus on tomatoes and their contribution of vitamin C and carotenoids, specifically lycopene and β -carotene. The antioxidant properties of these compounds and their health benefits, particularly in preventing chronic diseases, were examined. Various tomato processing methods for canned products were evaluated, highlighting the nutritional changes resulting from these treatments. It was determined that high-temperature treatments reduce vitamin C concentration, but they enhance lycopene bioavailability. Statistical data on the consumption and production of fresh and canned vegetables, as well as fresh and canned tomatoes, reveal that tomatoes and tomato preserves are the most in-demand vegetable products.

Keywords: vegetables, tomato, vitamin C, lycopene, β -carotene.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Importancia de los vegetales en la dieta.....	5
1.2. Consumo y producción de vegetales en España y el mundo.....	5
1.3. Botánica del tomate, diagramas de flujo del tomate fresco y sus conservas principales, y consumo y producción de tomate.....	10
1.4. Importancia de las vitaminas en los vegetales	15
2. OBJETIVO	16
3. MÉTODOS	16
4. DESARROLLO.....	16
4.1. Compuestos principales del tomate	16
4.2. Licopeno.....	18
4.3. β-Caroteno	20
4.4. Vitamina C	21
4.4.1. Factores que intervienen en la presencia de vitamina C en el tomate	21
4.4.2. Presencia de vitamina C en el tomate y sus beneficios.....	23
4.4.3. Efecto de diferentes tratamientos de procesado en los sólidos solubles y acidez	25
4.4.4. Efecto de diferentes tratamientos de procesado en vitamina C y en la capacidad antioxidante en fracción acuosa.....	27
4.4.5. Efecto de diferentes tratamientos de procesado en carotenoides y en la capacidad antioxidante en fracción orgánica.....	33
5. CONCLUSIONES	36
6. BIBLIOGRAFÍA	36

1. INTRODUCCIÓN

1.1.Importancia de los vegetales en la dieta

Las dietas con alto contenido de vegetales han sido siempre muy recomendables debido a su contribución para obtener y mantener una buena salud, debido principalmente a sus diferentes micronutrientes como ciertas vitaminas (C y A), minerales y fitoquímicos con propiedades antioxidantes (Slavin y Lloyd, 2012). Como alternativa ante la corta vida útil de estos alimentos se han desarrollado diferentes métodos de procesado, de modo que se pudiera alargar considerablemente la vida útil de dichos productos. Uno de los métodos más destacados son los vegetales enlatados en conserva, el cual permite que el producto dure años, mejore su calidad, los hace más fácilmente comestibles, más nutritivos y apetecibles (Martín-Belloso y Llanos-Barriobero, 2000).

El consumo de vegetales frescos es necesario para una dieta adecuada y equilibrada, pero los vegetales enlatados no quedan atrás en lo que a beneficios respecta. En una dieta equilibrada favorecen una mayor ingesta de nutrientes más interesantes, una dieta de mayor calidad, así como resultados más favorables en presión arterial y cantidad de grasa corporal en comparación con la población que toma menor o nula cantidad de dichos alimentos (Freedman y Fulgoni, 2016). La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que, para los adultos, una dieta sana debe contener al menos 400 g de hortalizas y frutas, sin tener en cuenta tubérculos como las patatas (OMS, 2018). A nivel mundial, el consumo de la población de hortalizas y frutas varía por países, pero también dentro de los mismos debido a cuestiones económicas y demográficas. La mayoría de la población mundial no alcanza en su dieta el consumo mínimo de vegetales frescos establecido. No obstante, las diferencias económicas o demográficas ofrecen la posibilidad de una mayor variedad de productos vegetales (Florkowski et al., 2014).

1.2. Consumo y producción de vegetales en España y el mundo

En España, el consumo de vegetales frescos en los últimos 34 años ha sido variable (Fig. 1), con una tendencia descendente relativamente considerable hasta 2007, cuando actuó como punto de inflexión al elevarse el consumo en 2008 y 2009 para continuar decreciendo paulatinamente hasta la actualidad. Se ha de destacar el aumento de consumo per cápita de manera singular en el año 2020. A nivel social, se aprecian diferencias en el consumo de vegetales frescos tomando en cuenta factores como el sexo, la edad, el modelo de vida doméstica, factores económicos o

conocimientos académicos. Las mujeres tienen una tendencia mayor a consumir vegetales frescos al menos tres veces al día frente a los hombres. Un modelo doméstico donde se vive en pareja es más favorable que si se vive soltero, así como sí se tienen estudios universitarios. También se ve favorecido el consumo de vegetales a medida que la edad de la población aumenta. Por otro lado, población joven que vive sola (especialmente hombres), con estudios limitados y con sobrepeso tienen más posibilidades de un consumo poco frecuente e inadecuado de vegetales frescos en su dieta (Lucha-López et al, 2023).

Podría parecer que este descenso en el consumo de vegetales frescos se ha compensado con el aumento del consumo de vegetales en conserva, sin embargo, el consumo de estos últimos se ha mantenido prácticamente estable en los últimos 34 años. Cabe destacar cómo a medida que bajaba el consumo de vegetales frescos entre 1990 y 1998, aumentaba ligeramente el consumo de vegetales en conserva, así como bajó el consumo de ambos en 1999 y lentamente volvió a ascender hasta el año 2004. A partir del año 2004, el consumo de las conservas de vegetales se mantuvo estable hasta la actualidad, y del mismo modo que los vegetales frescos, experimentó un aumento en el año 2020 para volver a descender ligeramente (Fig. 1).

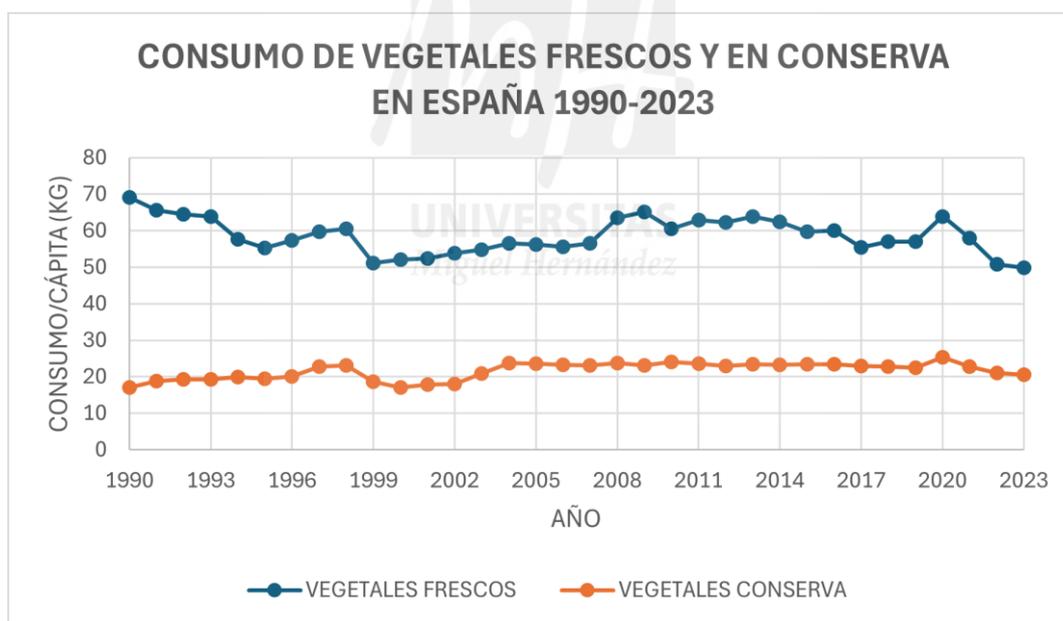


Fig. 1. Consumo de vegetales frescos y vegetales en conserva per cápita en España (datos obtenidos del MAPA, 2024).

La producción agrícola de vegetales es una de las más importantes a nivel mundial al cultivarse en todos los países del mundo, ya sea a mayor o menor escala, destinando la mayoría de la producción de hortalizas para consumo en fresco y una pequeña parte para transformación. No obstante, a nivel internacional, tres cuartas partes de la producción tienen lugar en Asia,

principalmente en el Este de Asia (913,7 g/cápita y día), donde China es el país principal (Tabla 1) (Dong et al. 2022). Por detrás de Asia del Este se encuentra Asia Central, cuyo suministro de vegetales por cápita y día alcanza los 620,3 g, siendo Uzbekistán el país principal en dicha zona del continente. Cabe destacar de Asia Central que, además de ser la segunda zona a nivel mundial en cuanto a suministro de vegetales, es la que mejor aprovecha el área de cosecha disponible, con un rendimiento de 33,9 toneladas/ha. A continuación, se encuentra el Oeste de Asia con un suministro de vegetales de 380,9 g/cápita y día con Turquía como país principal de dicha parte del continente asiático. El sur de Asia obtiene un buen resultado de producción de vegetales, pero considerablemente inferior que el resto del continente asiático. Europa es el segundo continente que mayor cantidad de vegetales suministra por cápita y día con una media de 303,9 g. El Sur de Europa es la zona del continente que mayor producción de vegetales aporta, con 375,2 g/cápita y día, siendo España el país principal. En el caso de Europa del Este queda por detrás con un suministro de 331,5 g/cápita y día, siendo Rusia el país más importante. El Oeste y Norte de Europa obtienen resultados más reducidos y alejados de la media mundial, aunque se recalca el elevado rendimiento obtenido por el área de cosecha utilizada en el caso del Oeste Europeo, cuyo rendimiento es de 31,3 toneladas/ha. Oceanía es el tercer continente con mayor suministro de vegetales, aunque su aporte es considerablemente alejado de la media mundial. En este continente destacan Australia y Nueva Zelanda con 266,3 g/cápita y día y un correcto rendimiento de 25 toneladas/ha. Aunque América como continente no destaca por su elevada producción de vegetales, América del Norte sí que obtiene unos resultados correctos, con un suministro de 306,2 g/cápita/día y un rendimiento de 33,2 toneladas/ha, donde destaca Estados Unidos. África es el continente que menos vegetales suministra a nivel mundial (186,3 g/cápita y día) si se observa la media, pero África del Norte es una de las zonas con mayor producción a nivel mundial con 401,0 g/cápita y día, estando Egipto a la cabeza en esta región africana.

Tabla 1. Área de cosecha, suministro de vegetales, rendimiento de producción y país principal en la producción de vegetales en los cinco continentes (datos obtenidos de Dong et al. 2022).

	Área de cosecha (m ² /cápita)	Suministro de vegetales (g/cápita y día)	Rendimiento (tonelada/ha)	País principal
Media mundial	76,6	385,8	18,9	-
Asia	91,6	488,8	20,5	-
Este de Asia	153,8	913,7	23,4	China
Asia central	70,2	620,3	33,9	Uzbekistán
Oeste de Asia	48,4	380,9	27,1	Turquía
Sur de Asia	54,2	223,6	15,4	India

Europa	42,7	303,9	26,1	-
Sur de Europa	68,2	375,2	28,8	España
Este de Europa	50,5	331,5	23,1	Rusia
Oeste de Europa	24,8	250,4	31,3	Francia
Norte de Europa	17,1	233,4	21,1	Reino Unido
Oceanía	42,4	254,0	19,5	-
Australia y Nueva Zelanda	36,5	266,3	25,0	-
Micronesia	16,1	123,3	11,6	-
Melanesia	50,9	121,8	11,5	-
Polinesia	130,3	107,7	4,1	-
América	35,7	213,6	22,6	-
América del Norte	28,2	306,2	33,2	Estados Unidos
Caribe	68,8	189,3	12,1	-
América Central	47,6	189,0	21,9	México
América del Sur	34,0	146,3	17,6	Brasil
África	76,1	186,3	8,4	-
Norte de África	64,8	401,0	22,1	Egipto
Oeste de África	135,5	183,2	4,9	Nigeria
África Central	65,0	133,0	4,4	Camerún
Sur de África	23,8	105,8	17,8	Sudáfrica

En lo que respecta a la Unión Europea, España es el primer país en producción de frutas y hortalizas con más del 25% de la producción europea, siendo casi el 60% de su producción destinada a hortalizas. La superficie dedicada a la producción de vegetales fue en 2022 de 1.864.216 ha, siendo un 0,5% menos que en 2021 y un 4,1% más que la media de los cinco años anteriores. Pese a haber aumentado la superficie destinada al cultivo de estos alimentos, en 2022 la producción fue de 25,3 millones de toneladas, lo cual supuso un 14,3% menos que en 2021 y un 11,6% menos que la media de los cinco años anteriores (MAPA, 2024).

En cuanto a la industria de la transformación en vegetales, ha crecido de manera regular junto con la producción de vegetales en fresco, aunque manteniendo siempre una distancia en cuanto a cantidad se refiere. Entre 1980 y 1990 creció un 30% la producción de vegetales y frutas, así como un 56% entre 1990 y 2003 (Tabla 2) (Ataman y Beghin, 2005).

Tabla 2. Valor comercial mundial de frutas y hortalizas, 1980-2001 (millones de dólares) (datos obtenidos de Ataman y Beghin, 2005).

Categoría	1980-81	Porcentaje del total	1990-91	Porcentaje del total	2000-01	Porcentaje del total
Frutas frescas	10,97	40	20,98	38	27,98	39
Frutas processadas	4,44	16	9,92	18	13,18	18
Vegetales frescos	6,81	25	13,32	24	16,91	24
Vegetales procesados	5,42	20	10,88	20	13,58	19
Total	27,64	100	55,09	100	71,64	100

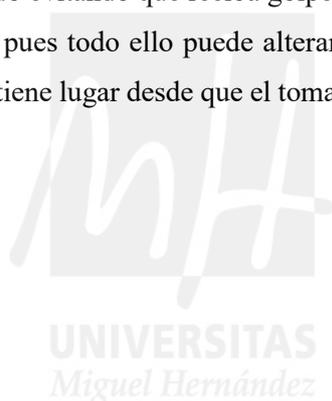
En Estados Unidos, Buzby et al., en 2008, definieron la estimación per cápita de la adquisición de vegetales enlatados, que creció entre 1970 y 2005 un 3% (19,28 kg per cápita a 19,50 kg per cápita), mostrando ciertas preferencias en el consumo de los diferentes vegetales enlatados. La conserva que más creció durante estos 35 años fue el tomate, pasando de 9,75 kg per cápita a 11,56 kg per cápita, lo que supone un incremento del 18%. De este modo, el tomate supuso un 59% del total de los vegetales enlatados adquiridos por la población estadounidense en el año 2005. Muy por detrás del anterior se encuentra el maíz dulce, el cual sufrió una disminución del 40% al pasar de 3,99 kg per cápita a 2,40 kg per cápita, siendo así el 12% del total de vegetales enlatados en el año 2005 en Estados Unidos.

La mayoría de los vegetales enlatados analizados por Buzby et al. acerca de la tendencia de consumo estadounidense sufrieron una regresión. Además del maíz le siguieron las judías verdes (2,4 – 2,0), pepinillos (1,9 – 1,3), zanahorias (1,4 – 1,1), guisantes (1,8-0,6), patatas (1,2 – 0,6) o espárragos (0,4 – 0,1). No obstante, hubo ciertos vegetales enlatados que tuvieron un incremento en su consumo como fueron los champiñones, de 0,230 kg per cápita a 0,318 kg per cápita (33%), y otros vegetales enlatados que en conjunto subieron un 49% al pasar de 0,590 kg a 0,826 kg per cápita (remolacha, legumbres, pimientos, castañas y zumos). Por otro lado, en Europa en 1996 el consumo de vegetales tuvo una amplia variedad entre los diferentes países, presentando el mayor consumo per cápita Bélgica-Luxemburgo con 31,18 kg y menor en Portugal con 2,32 kg. El

segundo país con mayor consumo per cápita fue Francia con 18,55 kg y el segundo con menor consumo per cápita España con 2,97 kg (Gracia y Albisu, 2001).

1.3. Botánica del tomate, diagramas de flujo del tomate fresco y sus conservas principales, y consumo y producción de tomate

El tomate es un vegetal (botánicamente una fruta), que pertenece a la familia *Solanaceae*, la cual cuenta con más de 3000 especies diferentes incluyendo patatas, berenjenas o pimientos. El género más grande dentro de esta familia es *Solanum*, y económicamente es el más importante. El tomate comúnmente cultivado se define como *Solanum lycopersicum*, aunque hay muchas especies silvestres reconocidas y distribuidas por diferentes zonas del mundo. Las diferentes características de los hábitats contribuyen a dicha distribución de especies a nivel mundial (Bergougnoux, 2014). Su gestión como cultivo primario no supone excesivas complicaciones logísticas, más allá de mantener el tomate en buen estado evitando que reciba golpes, el estado de madurez sea óptimo, y su conservación sea adecuada pues todo ello puede alterar su composición nutricional. En la Fig. 2 se muestra el proceso que tiene lugar desde que el tomate está en el campo hasta su llegada al consumidor.



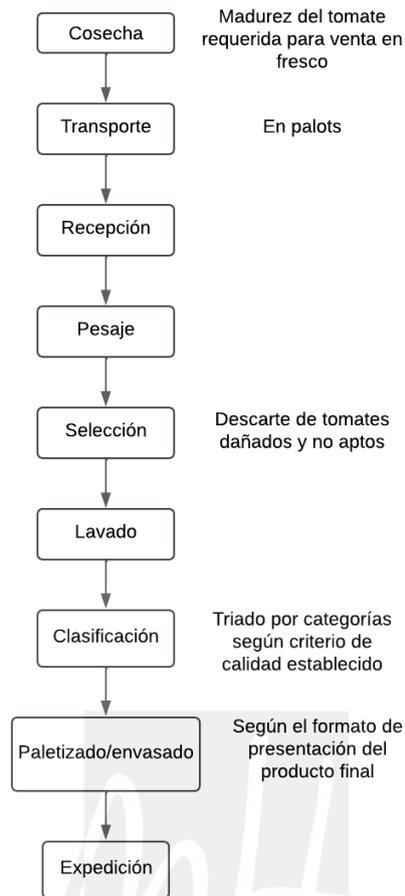


Fig. 2. Diagrama de flujo del tomate desde su cosecha en el campo hasta la recepción del lugar de venta al consumidor final.

Las productos transformados o conservas de tomate conllevan un proceso más extenso para su formación y manejo. Las conservas de tomate pelado entero (Fig. 3), tomate concentrado y salsas de tomate (Fig. 4) son sólo unos de los tantos productos derivados del tomate que se encuentran en la actualidad, y tan comúnmente utilizados en todas las gastronomías a nivel mundial. Los procesos que se pueden aplicar para la elaboración de estos productos son muy numerosos, y cada uno repercutirá en el tomate y sus características de forma diferente. Las conservas mencionadas anteriormente son las más utilizadas en todas las gastronomías, cuyos procesos de elaboración son los siguientes

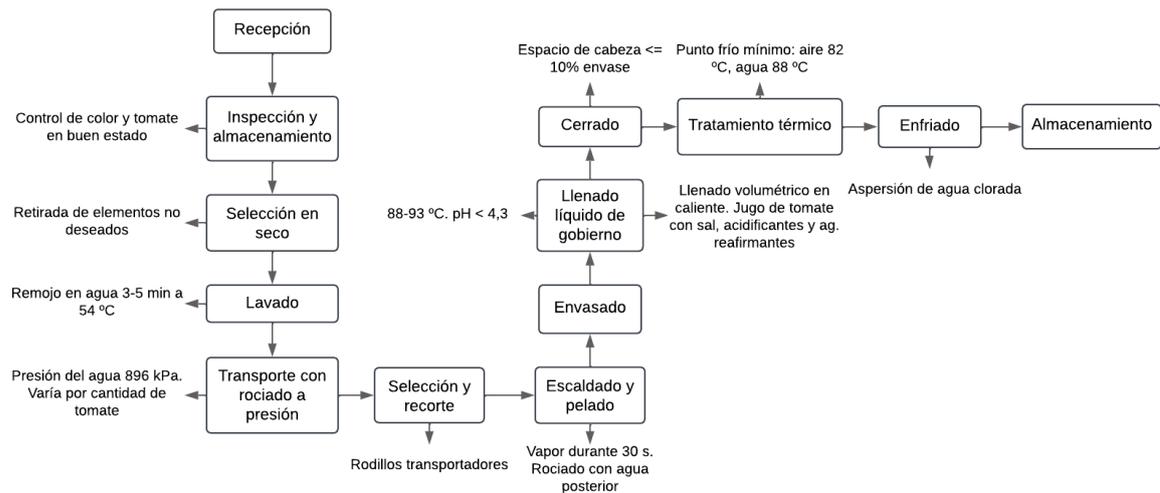


Fig. 3. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de tomate entero enlatado a partir de tomate fresco (datos obtenidos de Featherstone, 2016).

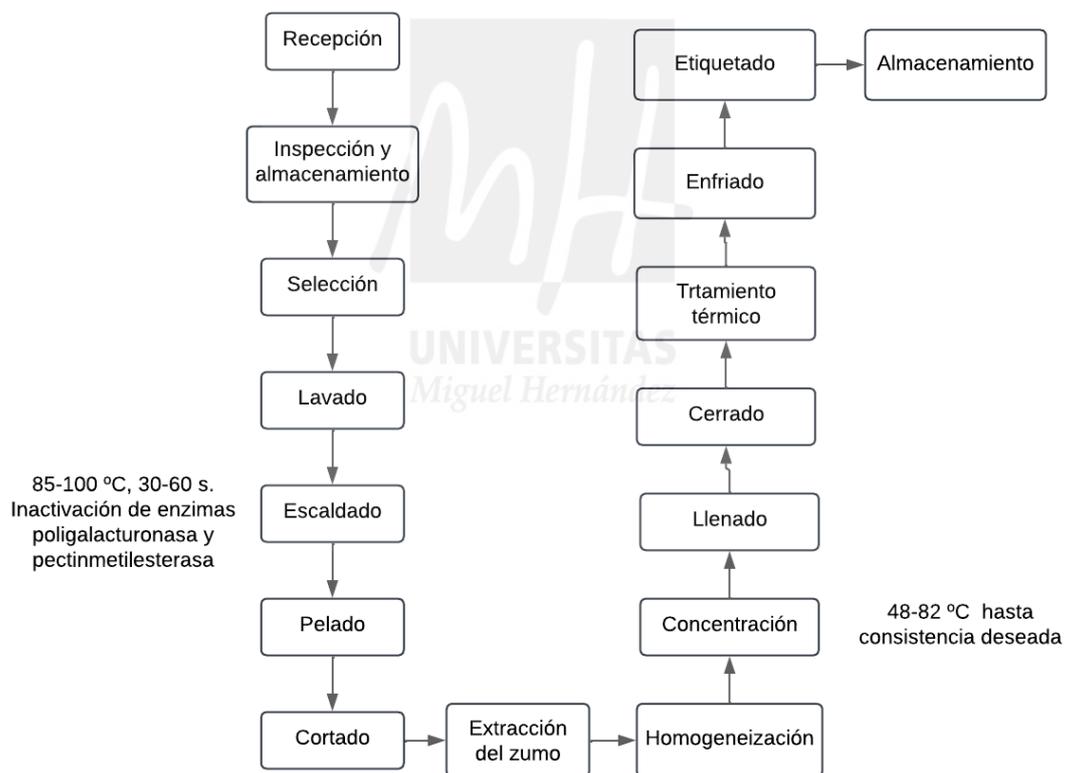


Fig. 4. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de salsa de tomate o concentrado de tomate a partir de tomate fresco (datos obtenidos de Montanari et al., 2018).

Las etapas del procesado para la obtención de productos derivados del tomate fresco pueden tener variaciones, dependiendo del tamaño y objetivo que tenga la industria en cuestión. En el caso del lavado, tanto en el tomate entero enlatado (Fig. 3) como en los tomates concentrados o salsa (Fig.

4), es un proceso crucial en ambos casos, pero según el producto final a obtener se muestran ciertas diferencias. La regla general admitida es un remojo de 3 a 5 minutos en agua a 54 °C. No obstante, en el caso de los tomates enteros el lavado es más exhaustivo, especialmente si los tomates se han cosechado en un tipo de suelo que haya formado mucha suciedad en la superficie del tomate. Se recomienda añadir al agua hipoclorito de sodio e incluso agitar el agua del tanque o utilizar aire comprimido (Featherstone, 2016).

El pelado es otra de las etapas que pueden variar según la preferencia de la industria. Los métodos más utilizados son con agua caliente o vapor y el pelado cáustico o con lejía. En el primer caso, el pelado con agua caliente o vapor, los tomates se introducen en un baño de agua caliente o se someten a vapor, a $\geq 98^{\circ}\text{C}$, 15-60 segundos o 165-179 kPa, respectivamente. Posteriormente los tomates se rocían con agua fría o se enfrían al vacío para evitar su sobrecocción. Es considerado el método más común y económico. En el caso del pelado con lejía, los tomates se sumergen en una solución de agua con hidróxido de sodio al 8-25% que se encuentra a 60-100 °C durante 15-60 segundos. La solución caliente afecta a las ceras de la epidermis rompiendo los enlaces α 1-4 en la pectina, comprometiendo la red sostenida por los polisacáridos de esta y liberando así la piel. Es un método más controvertido que el anterior, debido a la problemática ambiental que puede generar el hidróxido de sodio como desecho si no se gestiona correctamente (Rock et al., 2012).

En consonancia con el aumento de producción y consumo del tomate detectado por Buzby et al., (2008) en Estados Unidos entre 1970 y 2005, la importancia del tomate en el mercado europeo es también de suma relevancia. Es la hortaliza con mayor presencia en el comercio internacional y, en el caso del mercado europeo, este es el mercado principal importador/exportador de tomate (Capobianco et al., 2021). A nivel internacional, anualmente se producen 160 millones de toneladas de tomate. En España en el año 2012 la producción fue de 4 millones de toneladas, de las cuales el 30% fueron aportadas por la Región de Murcia (Martínez et al., 2016).

El tomate es una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial. En los años 2018/2019 fue el Oeste de la Unión Europea la zona continental con mayor consumo de tomate, con un total de 23 kg/cápita al año, seguido por Australia-Nueva Zelanda con 22 kg/cápita al año y América del Norte en tercer lugar con 20 kg/cápita al año (Branthôme, 2020). En España el consumo de tomate fresco ha descendido desde 17,4 kg/cápita en 1990 hasta 11,41 kg/cápita en 2023 (Fig. 5). Ese descenso supone una notoria diferencia de 5,99 kg/cápita menos al año, es decir, un descenso del 34,43%. En la década de 1990 a 1999 tuvo lugar la bajada de consumo más acusada, siendo este último año el punto de inflexión para un posterior crecimiento paulatino hasta el año 2011. A partir de 2011, el consumo de tomate fresco en España volvió a decrecer hasta la actualidad,

obteniendo un incremento puntual en el año 2020. En el caso de los productos transformados de tomate, de 1990 a 1996 se observó un crecimiento repentido en el consumo de estos alimentos. Posteriormente, entre 1996 y 2003, el consumo de los productos transformados de tomate cayó considerablemente, siendo este último año el punto de inflexión para que, desde entonces, el consumo de estos productos haya ido aumentando paulatinamente hasta el año 2020. Desde 2020 hasta la actualidad, tanto el consumo de tomate fresco como de productos transformados de tomate ha ido en retroceso.

Al observar el desarrollo del consumo de vegetales frescos y en conserva en España desde 1990 hasta 2023 (Fig.1) y estudiar cómo ha evolucionado, específicamente en el caso del tomate, el consumo en fresco y en conserva (Fig.5), se afirma que en el año 1990 el tomate fresco representó un 25,18% del total del consumo de vegetales frescos. Por otro lado, en el caso de los vegetales en conserva, en el año 1990 el tomate representó un 64,33% del total. En el año 2023, el tomate representó el 22,86% del consumo total de vegetales frescos, así como las conservas de tomate representaron el 53,61% del total de vegetales en conserva. Pese a la disminución del consumo general de vegetales, así como la ligera disminución de consumo frente a otros vegetales frescos y en conserva, el tomate sigue siendo en la actualidad el vegetal más consumido en España.

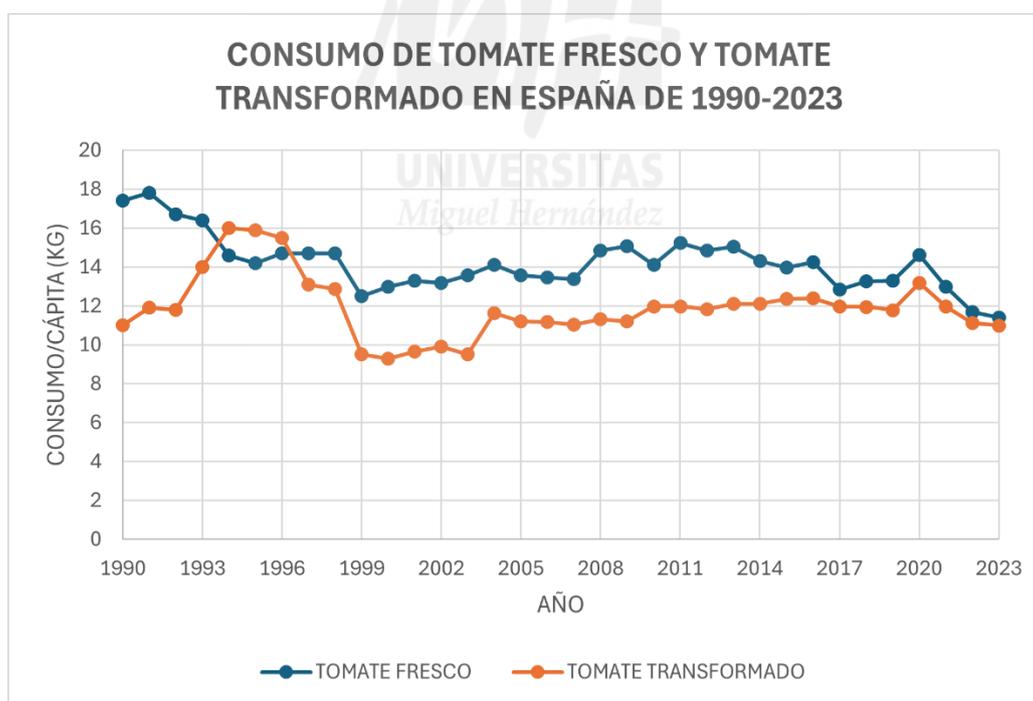


Fig. 5. Consumo de tomate fresco y tomate transformado per cápita en España (datos obtenidos de MAPA, 2024).

1.4.Importancia de las vitaminas en los vegetales

Los vegetales, incluyendo el tomate, son importantes en la dieta por su aporte nutricional variado, no tanto en macronutrientes como sí en micronutrientes, principalmente las vitaminas. Las vitaminas son constituyentes orgánicos que no aportan energía, pero son necesarias para una salud adecuada. Estos compuestos desempeñan numerosas funciones en el metabolismo y deben aportarse en la dieta al no ser sintetizables por el propio organismo humano. Son compuestos orgánicos necesarios para el organismo que deben ingerirse en las dosis recomendadas, ya que tanto un exceso (hipervitaminosis) como una deficiencia (hipovitaminosis) son perjudiciales.

Se clasifican en dos grupos principales, según su solubilidad. En las vitaminas solubles en agua se encuentran las vitaminas del grupo B o la vitamina C, o en las vitaminas solubles en grasa las vitaminas A, D, E y K (Costa y Gantner, 2020). En el caso de los vegetales, su contenido vitamínico se centra con una mayor cantidad en las vitaminas hidrosolubles como la C o las vitaminas del grupo B. No obstante, se encuentran ciertas excepciones donde también se encuentran vitaminas liposolubles como la vitamina E y A en la zanahoria (Tabla 3). A lo largo de los años numerosos estudios han mostrado que las dietas con alto contenido de vegetales se asocian con menores riesgos de enfermedades crónicas. Esto se debe al contenido de vitamina C y α -tocoferol, ambos poderosos antioxidantes que ayudan a reducir el impacto del envejecimiento. Junto a los anteriores se incluye también el β -caroteno (provitamina A), el cual es sinérgico con el α -tocoferol y pueden ayudar en la prevención de varios tipos de cáncer. La vitamina K, pese a estar menos presente en términos generales, también se asocia con la reducción de las enfermedades cardiovasculares (Lee et al., 2018).

Tabla 3. Vitaminas de diferentes vegetales y su concentración (mg/100 g peso fresco) (datos obtenidos de Javed et al, 2019).

Vegetal	Vitamina	Concentración (mg/100 g peso fresco)
Zanahoria	Vitamina C	1,4-5,8
	Vitamina A	0,32-1,7
Tomate	Vitamina C	26
	Vitamina B1	0,1
Cebolla	Vitamina C	18,77
Brócoli	Vitamina C	74,81
Lechuga	Vitamina C	10
Coliflor	Vitamina C	45

La vitamina C es la que se encuentra en mayor concentración en casi todos los vegetales (Tabla 3), por lo que se va a estudiar su comportamiento durante el procesado, específicamente en el tomate, debido a su elevada producción a nivel mundial y su alto consumo en prácticamente todas las diferentes gastronomías del mundo.

2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es comprender y determinar el efecto que pueda causar el procesado del tomate y su relación con el contenido de vitamina C. Se analizará cómo afectan las diferentes etapas, así como diferentes métodos de procesado, a este alimento y la variación de concentración de esta importante vitamina.

3. MÉTODOS

Se realizó una primera parte de revisión bibliográfica a través de, tanto diferentes bases científicas como Scopus, ScienceDirect, Scielo, Web of Science así como Google Scholar, y el buscador de Google para indagar en webs especializadas como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) o la Base Española de Datos de Composición de Alimentos (BEDCA), entre otras. Como palabras clave para la búsqueda se usó “vegetable consumption”, “vegetable production”, “tomato processing”, “tomato vitamin C”, “tomato lycopene”, “tomato β -carotene”, “vitamin C processing”. Se excluyeron por motivos económicos las revistas, artículos o libros de pago. Todos los artículos que se escogieron fueron en castellano e inglés, y como fecha de publicación desde 2023 (en la medida de lo posible). Se obtuvo una recopilación de unos 400 artículos, que, tras su revisión se seleccionaron 100, de los que finalmente se utilizaron 57 para realizar el presente trabajo, los cuales 25 se encuentran dentro del periodo de 2014-2023 , y 5 páginas web, suponiendo un total de 62 citas.

4. DESARROLLO

4.1. Compuestos principales del tomate

Los tomates contienen desde concentraciones modestas hasta altas concentraciones de importantes nutrientes, incluyendo la vitamina C, vitamina A como provitamina A, folato y potasio. Los compuestos importantes que se encuentran presentes en mayor cantidad (Tabla 5) son la vitamina C y los carotenoides, principalmente en forma de licopeno (60-90% del total de carotenoides), seguido por el fitoeno (5,6-12%). Son los carotenoides los que forman la provitamina A, la cual se convierte en vitamina A en el organismo al ser metabolizada. Las concentraciones y tipos de los carotenoides en los tomates varían de forma considerable según el cultivo, etapa de madurez, factores ambientales y las condiciones del crecimiento del cultivo (Wu et al, 2022). Gracias a los diferentes compuestos que se encuentran en el tomate se ha comprobado, a lo largo de los años, que el consumo de tomate y productos de tomate se ha relacionado con una reducción de la susceptibilidad de varios tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares. Los antioxidantes presentes mencionados, especialmente el licopeno y β -caroteno, son los responsables de dichos efectos favorecedores para el organismo (Borguini y Torres, 2009).

Son numerosos los estudios que han evaluado los diferentes compuestos mencionados anteriormente desde que se descubrió su capacidad antioxidante, lo cual sucede por su interacción con las especies reactivas de oxígeno (ROS) que causan el estrés oxidativo a nivel celular (Wojcik et al., 2010). Los antioxidantes son sustancias capaces de inhibir o retrasar de manera significativa la oxidación de un sustrato estando en una baja concentración en relación con el sustrato oxidado. Son compuestos que no se transforman en radicales libres al donar electrones pues son estables siempre. Según Borguini y Torres (2009), la vitamina C es un antioxidante natural abundante en el tomate y en muchos otros vegetales, por lo que no resulta difícil obtener la cantidad adecuada que se recomienda (100 mg/día), la cual varía en diferentes casos como infecciones, embarazo o personas fumadoras, donde se incrementa la cantidad necesaria diaria. El ácido ascórbico es muy considerado entre los diferentes antioxidantes por la mencionada facilidad de obtención por su abundancia, pero también lo es por su eficiencia en dicha función. El ácido ascórbico presenta una gran facilidad para perder sus electrones y neutralizar así los ROS, lo cual lo hace muy efectivo a nivel biológico (Fig. 6). Por donar un electrón es capaz de reducir muchas especies reactivas. Pese a que la cantidad de vitamina C varíe según el formato en el que se encuentre el tomate (Tabla 5) y el estado de madurez de este, el ácido ascórbico es muy estable en el tomate gracias al entorno ácido que este presenta (Borguini y Torres, 2009).

Tabla 5. Contenido de vitaminas en el tomate fresco y tomate enlatado.

Nutriente	Tomate fresco	Tomate enlatado	Referencia
Vitamina C mg/100g	13,7	7	Wu et al., (2022).
Vitamina A mg/100g	0,010	0,005	Abdullahi et al., (2016).
Licopeno mg/100g	9,27	17,98	Tonucci et al., (1995).
B-caroteno mg/100g	0,23	0,45	Tonucci et al., (1995).
Folato μ g/100g	15	9	Wu et al., (2022).
Vitamina E g/kg	0,0054	0,0071	Rickman et al., (2007).

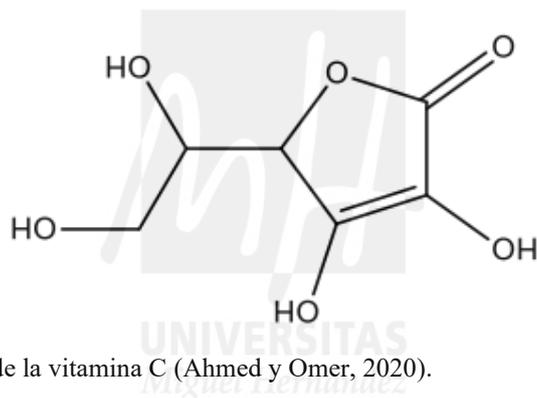


Fig. 6. Estructura química de la vitamina C (Ahmed y Omer, 2020).

4.2. Licopeno

Por detrás de la vitamina C, el licopeno es el segundo compuesto presente en el tomate que más efecto tiene al interactuar con los ROS, haciéndolo un componente muy interesante que también está presente en este vegetal (Tonucci et al., 1995). Es un compuesto que además sirve como intermediario para la biosíntesis de otros carotenoides como el β -caroteno (Tabla 5). Por ello, además de ser el carotenoide con mayor poder antioxidante, contribuye en la formación de otros carotenoides. Su alto poder antioxidante se debe a su estructura hidrocarbonada alifática (Fig. 7), la cual presenta 11 dobles enlaces conjugados y dos enlaces dobles no conjugados y es soluble en grasas y lípidos (Alda et al., 2009).

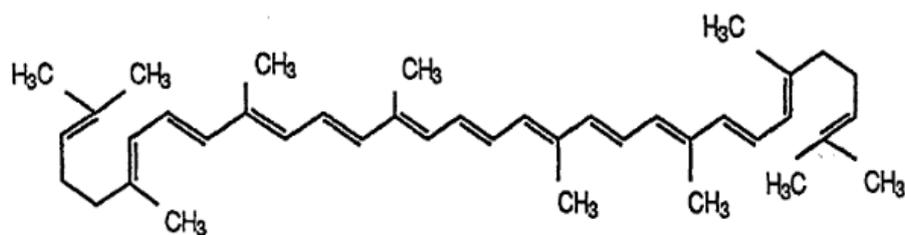


Fig. 7. Estructura química del licopeno (Elango y Asmathulla, 2017).

La estructura química es clave para el desempeño de las diferentes actividades químicas de los compuestos, incluyendo el licopeno. Se puede presentar como isómero *cis* o *trans*, siendo este último el mayoritario (95% del contenido) y el más estable a los tratamientos térmicos. En el caso de los isómeros *cis*, sus características y comportamiento son diferentes a los del *trans*, ya que tienen menor intensidad de color, menor punto de fusión, menor coeficiente de extinción molar y un cambio en el valor máximo de absorción en el espectro ultravioleta-visible. Para la nomenclatura del isómero mayoritario del licopeno, el *trans*, se utiliza all-*trans* licopeno (IUPAC, 1975). Esta forma química del licopeno es la más estable frente al tratamiento térmico, manteniendo prácticamente invariable su contenido tras el cocinado, aunque en elaboraciones a nivel doméstico pueden dar lugar a una isomerización de entre 20-30% de *trans* a *cis*. Como se ha comentado, el contenido de los compuestos varía según la madurez del tomate, la climatología durante el cultivo y la variedad. En la Tabla 6 se muestran algunas de las diferentes variedades de tomate y su contenido aproximado de licopeno, teniendo en cuenta que su concentración es mayor en muestras cultivadas durante el verano frente a las cultivadas durante el invierno (Periago et al., 2001).

Tabla 6. Variedades comerciales de tomate fresco consumidas en España y su aporte de licopeno a la dieta (Periago et al., 2001). *Ración de 130 g.

Variedad comercial	mg/100 g peso fresco	mg/ración*
Ramillete	3.04	3.95
Daniela	3.39	4.41
Canario	4.68	6.09
Rambo	3.14	4.08
Durina	6.11	7.94
Pera	6.05	7.87
Senior	3.17	4.12
Liso	1.77	2.30

En el caso de los productos de tomate, pese al tratamiento térmico del procesado, estos presentan

una mayor cantidad de licopeno en proporción a diferencia del tomate fresco, debido a la deshidratación y concentración, lo que permite un mayor aporte en la dieta (Tonucci et al., 1995). Las diferentes cantidades de licopeno en los diversos productos derivados del tomate (Tabla 7) tienen un impacto diferente en la población según las preferencias de consumo de esta. Por ejemplo, en España, el tomate es el vegetal más consumido con un 27,7% sobre el total (Agudo et al., 1999), pero en otros países como Italia su consumo es más destacado de productos procesados del tomate o salsas de tomate, o en Estados Unidos donde el ketchup es habitual en la dieta (Periago et al. 2001). Al estar tan presente en la dieta gracias a su variedad de formatos de consumo, es sencillo obtener un adecuado aporte de licopeno.

Tabla 7. Comparación del contenido en licopeno en tomate fresco y diferentes productos de tomate.

Producto	Licopeno (mg/100g)	Referencia
Tomate fresco	9,27	Tonucci et al., (1995).
Salsa de tomate	13,06	Rao et al., (1998).
Pasta de tomate	36,50	Rao et al., (1998).
Ketchup	17,12	Alda et al., (2009).

4.3. β -Caroteno

Tras el licopeno, el β -caroteno es el carotenoide con mayor presencia en el tomate (Seybold et al., 2004). Además, este compuesto es el principal precursor de la vitamina A y del mismo modo que ocurre con el licopeno, se le atribuyen beneficios para la salud como su actividad antioxidante y anticancerígena, previniendo el daño celular y actuando como quelante de radicales libres. Estas propiedades son posibles debido a sus características químicas: es un polieno con 11 dobles enlaces (Fig.8), liposoluble, y su contenido es mayoritario en el isómero all-trans, aunque este es inestable, oxidándose fácilmente tanto térmica como químicamente, e isomerizando a cis a causa del oxígeno, la luz y las altas temperaturas durante el procesado y el almacenamiento.

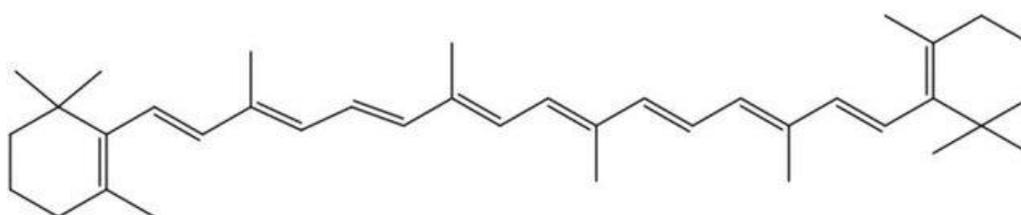


Fig. 8. Estructura química del β -caroteno (Chen et al., 2021).

En el caso de este carotenoide, su biodisponibilidad es ciertamente comprometida pues depende

de otros compuestos que lo acompañen en el alimento. Su absorción a nivel intestinal depende tanto de su ingesta en la dieta como de la conversión a vitamina A, el estado nutricional del individuo, factores genéticos, contenido de grasa en la dieta y la tasa de absorción (Gul et al., 2015). De manera similar a lo que ocurre con el licopeno (Tabla 7), en el β -caroteno también se aprecia una mayor concentración en productos de tomate en comparación con el tomate fresco (Tabla 8), debido a la deshidratación durante el tratamiento térmico. No obstante, su incremento tiene lugar en menor medida por la menor estabilidad que presenta y teniendo como consecuencia una mayor isomerización durante el procesado en comparación con el licopeno. A pesar de ello, el consumo de estos productos de tomate sigue siendo una buena opción para la obtención de carotenoides y por tanto beneficiosos para la salud (Baranska et al., 2006).

Tabla 8. Comparación del contenido de β -caroteno en tomate fresco y diferentes productos de tomate

Producto	β -caroteno (mg/100g)	Referencia
Tomate fresco	0,43	Nwaichi et al., (2015).
Tomate fresco	0,44	Baranska et al., (2006).
Puré de tomate	0,89	Baranska et al., (2006).

4.4. Vitamina C

4.4.1. Factores que intervienen en la presencia de vitamina C en el tomate

La vitamina C es la más abundante de las vitaminas presentes en el tomate (Tabla 9). Su alto contenido junto con su elevado efecto antioxidante, así como su extendido consumo en todo el mundo, convierte al tomate en un vegetal más que interesante para mantener en la dieta.

Entre otros factores mencionados anteriormente, el contenido de ácido ascórbico depende en gran parte de la variedad del tomate (Shinohara et al., 1982) pero también depende de las estaciones. La luz no es imprescindible para la síntesis del ácido ascórbico pero su aumento en cantidad e intensidad durante el crecimiento del tomate incrementa el contenido de dicho compuesto. Esto se debe a la síntesis del ácido ascórbico mediante azúcares proporcionados por la fotosíntesis (Lee y Kader, 2000). Cabe destacar que para que tenga lugar este incremento en la cantidad de ácido ascórbico, es fundamental la calidad o tipo de luz. En el caso de la vitamina C, su síntesis se ve favorecida por la exposición a luz infrarroja de 700-1100 nm, (Gautier et al. 2004), lo cual puede deberse a un efecto combinado de la calidad del espectro y la temperatura del tomate, causando interacciones en el metabolismo de los azúcares y, por ende, también con la vitamina C (Gautier et al. 2005).

La temperatura también interviene en el contenido de vitamina C de manera directa, pues la estructura formada por carbonos es necesaria para la biosíntesis de dicho antioxidante. Un aumento de azúcares, mediante una respiración reducida por temperaturas más bajas, favorece una mayor cantidad de fitoquímicos incluido el ácido ascórbico. La vitamina C se ve negativamente afectada si tiene lugar un aumento de la temperatura durante el crecimiento del tomate. (Dorais et al., 2001). La termoinhibición, de forma muy parecida a la fotoinhibición, puede causar un aumento en las ROS y posiblemente una regulación positiva de los antioxidantes para enfrentar al aumento de dichas especies reactivas de oxígeno (Torres et al. 2006).

El CO₂ y su aumento en la atmósfera a lo largo de los últimos dos siglos no representan un beneficio para los compuestos antioxidantes en los vegetales. La alta concentración a nivel atmosférico reduce el estrés oxidativo de las plantas (Idso e Idso, 2001), lo cual causa una reducción en la concentración de antioxidantes de estas, incluyendo la vitamina C. La calidad nutricional y actividad antioxidante del tomate y otros vegetales se ven afectados por el estrés oxidativo. La contaminación en el aire actúa negativamente sobre ello, a consecuencia de la presencia de polvo, ozono, dióxido de azufre u óxido nitroso entre otros, causando daños oxidativos en el ADN, proteínas, membranas y sistemas enzimáticos (Lester, 2006).

El riego y la salinidad del agua utilizada también influyen en la cantidad de ácido ascórbico que presenta el tomate. La cantidad de agua utilizada es determinante más allá del manejo adecuado de los fertilizantes y el método de riego. Un exceso de agua durante una temporada con muchas lluvias puede disminuir la concentración de oxígeno en el suelo y variar la composición nutricional del tomate. Teniendo en cuenta la localización del cultivo, así como el clima propio de la zona, es posible determinar un método diferente de producción y riego (Locascio, 2005). En el caso de la vitamina C, se ve favorecida con un uso correcto del agua, sin ser excesivo, de modo que el tomate no contenga agua en exceso que reduzca la concentración de los compuestos (Dorais et al. 2008).

El tamaño del propio tomate también es un factor para tener en cuenta en lo que respecta a las diferencias de ciertos componentes, entre ellos la vitamina C. A menor tamaño del tomate, mayor ratio de piel/volumen presenta, lo cual aumenta la concentración de vitamina C contenida en un mismo peso de tomate (Dorais et al. 2008).

4.4.2. Presencia de vitamina C en el tomate y sus beneficios

La composición nutricional del tomate fresco (Tabla 9) se basa en un alto contenido en agua (93,90%), seguido por los hidratos de carbono (3,50%), proteína (0,90%) y grasa (0,10%), suponiendo un aporte calórico de 19 kcal por 100 g de tomate fresco.

Tabla 9. Composición nutricional del tomate por 100 g de porción comestible. Datos obtenidos de BEDCA (Base de Datos Española de Composición de Alimentos, 2024).

COMPOSICIÓN DEL TOMATE

Energía	19 kcal
Agua	93,90 g
Macronutrientes	
Grasa	0,10 g
Proteína	0,90 g
Hidratos de carbono	3,50 g
Vitaminas	
Vitamina C	19 mg
Vitamina A	82 µg
Folato	29 µg
Tiamina	0,06 mg
Riboflavina	0,04 mg
Niacina	0,8 mg

Como se ha mencionado anteriormente, el ácido ascórbico es una vitamina realmente importante a nivel antioxidante por su facilidad de perder electrones para estabilizar las ROS. Junto con su función antioxidante presenta multitud de otros beneficios para el organismo. Es imprescindible que la ingesta de la vitamina C esté dentro de las dosis diarias recomendadas. El Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) recomienda una ingesta diaria de 75 mg en adultos, 85 mg en mujeres en periodo de embarazo y 120 mg durante la lactancia (AESAN, 2019). La deficiencia de vitamina C causa el desarrollo del escorbuto (debilidad muscular, encías sangrantes, pérdida de dientes, anemia, etc), que puede llegar a la muerte por hemorragia cerebral, hemorragia miocárdica o neumonía. Los primeros síntomas (cansancio e irritabilidad) aparecen cuando los niveles plasmáticos de vitamina C son inferiores a 20 µM. Por debajo de 11 µM en el plasma, los síntomas clínicos mencionados anteriormente comienzan a aparecer. Por otro lado, una dosis alta de vitamina C actúa como prooxidante en lugar de antioxidante, siendo beneficiosa en el tratamiento del cáncer al ser suministrada por vía

intravenosa y no oral. Con ello se consigue elevar considerablemente los niveles de vitamina C en el plasma (20 mM), favoreciendo el efecto anticancerígeno de dicha vitamina. La toxicidad causada por una ingesta demasiado elevada de vitamina C es poco probable, ya que se ha demostrado que, aunque no es recomendable, el organismo puede asimilar dosis orales de 5-10 g. La vitamina C se metaboliza parcialmente en oxalato, aumentando los niveles de este en la orina, por lo que una dosis excesiva durante un tiempo prolongado puede causar cálculos urinarios (Dosedel et al., 2021).

Tabla 10. Beneficios en el organismo humano por parte de la vitamina C presente en el tomate.

ENFERMEDAD	BENEFICIO	REF.
Vasodilatación	Efectiva en la dilatación de vasos sanguíneos en casos de aterosclerosis, insuficiencia cardíaca congestiva, colesterol alto, angina de pecho y alta presión arterial.	Kumar et al., (2012), Kumar et al., (2020).
Toxicidad por plomo	Reduce los niveles de plomo en sangre, evitando problemas en el desarrollo, aprendizaje y bajo coeficiente intelectual en niños, así como daños en el riñón y aumento de presión sanguínea en adultos.	Kumar et al., (2012), Kumar et al., (2020).
Problemas de visión	Una menor ingesta de vitamina C aumenta la probabilidad de sufrir cataratas. Aumentar su consumo favorece el aporte sanguíneo en la zona visual, contribuyendo a la mejora frente a esta enfermedad.	Kumar et al., (2012), Kumar et al., (2020).
Cáncer	El elevado consumo de vegetales frescos está directamente relacionado con la disminución del riesgo de diferentes tipos de cáncer. Una alta cantidad de vitamina C en la dieta disminuye la probabilidad de cáncer de pulmón, boca, garganta, estómago, esófago, cuerdas vocales y colon rectal.	Kumar et al., (2012),
Problemas cerebrales	La vitamina C está directamente relacionada con la reducción del riesgo de trombos a nivel cerebral.	Kumar et al.,

	Una cantidad adecuada en la dieta mantiene una presión sanguínea correcta, así como protege al organismo de las ROS que pueden causar dicho suceso.	(2012),
Estado de ánimo	La vitamina C es un elemento clave en la producción de neurotransmisores, pudiendo influir en el estado de ánimo, así como en el correcto funcionamiento cerebral.	Kumar et al., (2012), Kumar et al., (2020).
Regulación del azúcar en sangre	La vitamina C es uno de los métodos principales que se aplican para la diabetes. Su suplemento es beneficioso para controlar el nivel de azúcar en sangre en diabéticos al controlar el procesamiento de la insulina y la glucosa.	Kumar et al., (2020).
Cura de heridas	La cantidad adecuada de vitamina C favorece la reparación de heridas en el cuerpo al contribuir al crecimiento de tejidos conectivos.	

4.4.3. Efecto de diferentes tratamientos de procesado en los sólidos solubles y acidez

Dependiendo de la gastronomía que se trate, las cifras en cuanto al modo de consumo de tomate pueden variar ligeramente. No obstante, a rasgos generales puede afirmarse que más del 80% de la producción de tomate se consumen en forma de producto procesado del mismo, ya sea como puré, pasta, zumo, sopas o salsas de tomate (Willcox et al., 2003). Como se muestra en la Tabla 5 que la vitamina C presente en el tomate disminuye durante el procesamiento para la elaboración de los productos de tomate. No obstante, son numerosos los posibles métodos a aplicar para dicho procesamiento, afectando de forma diferente la cantidad de vitamina C presente en el tomate.

En el caso del formato puré de tomate, Sánchez et al. (2005) estudiaron las diferencias que presenta el tomate maduro *Lycopersicon esculentum* Mill. *Solanaceae* obtenido en Almería al aplicarlo a varios tratamientos para obtener puré de tomate. En la Tabla 11 se pueden observar las características fisicoquímicas que presentaron tanto el puré de tomate crudo como el resto de los purés con los diferentes tratamientos.

Tabla 11. Características físicas y fisicoquímicas de los purés de tomate (Sánchez et al., 2005).

- a. Los valores son medias \pm desviación estándar, $n = 6$. Valores en la misma columna con diferentes letras son significativamente diferentes a $P < 0,05$.
- b. R, crudo; HP, alta presión; LPT, baja pasteurización; HPT, alta pasteurización; F, congelado; HPT + F, alta pasteurización y congelado.

Tratamiento	pH	Sólidos solubles (°Brix a 20°C)	Sólidos totales (g peso seco/kg peso húmedo)	Acidez valorable (g ácido cítrico/kg peso húmedo)
R	2,98 \pm 0,02b	7,3 \pm 0,2a	87,2 \pm 1,6a	21,8 \pm 0,1c
HP (400 MPa/25°C/15 min)	3,02 \pm 0,01 cd	7,5 \pm 0,1b	86,4 \pm 1,2a	21,8 \pm 0,1c
LPT (70°C/30 s)	2,98 \pm 0,03b	7,9 \pm 0,1c	86,4 \pm 0,7a	21,8 \pm 0,1c
HPT (90 °C/1 min)	3,04 \pm 0,01d	7,9 \pm 0,1c	85,4 \pm 0,5a	21,8 \pm 0,0c
F (-38°C/15 min)	2,94 \pm 0,01a	8,3 \pm 0,1d	87,4 \pm 0,9a	21,6 \pm 0,1b
HPT (90°C/1 min) + F (- 38°C/15 min)	2,99 \pm 0,01bc	8,3 \pm 0,1d	86,7 \pm 1,3a	21,4 \pm 0,1a

En lo que al pH respecta, fue el puré F el que mostró un pH inferior. El puré R y el LPT mostraron diferencias significativas frente al anterior, aunque no fue así comparando con el HPT+F. Este último presentó poca diferencia (no significativa) frente al puré HP, así como este tampoco mostró diferencias significativas con el HPT, que presentó el pH más alto (3,04 \pm 0,1d).

Los sólidos solubles fueron menores en el puré R (7,3 \pm 0,2a), el cual mostró diferencias significativas con el puré HP. Los purés LPT y HPT obtuvieron el mismo valor, significativamente mayor que los dos anteriores, pero los que obtuvieron un mayor contenido de sólidos solubles fueron el puré F y HPT+F con 8,3 \pm 0,1d.

Los sólidos totales variaron ligeramente entre las diferentes muestras, con el menor valor en el puré HPT (85,4 \pm 0,5a) y el mayor valor en el puré F (87,4 \pm 0,9a). Sin embargo, las diferencias que mostraron las muestras en lo que respecta a los sólidos totales no fueron significativas.

La acidez valorable obtuvo su menor valor en el puré HPT + F (21,4 \pm 0,1a), seguido por el puré

F con $21,6\pm 0,1b$. Tanto el puré R, HP, LPT y HPT mostraron el mismo valor de acidez valorable ($21,8\pm 0,1c$), siendo una diferencia significativa en comparación con los valores anteriores.

4.4.4. Efecto de diferentes tratamientos de procesado en vitamina C y en la capacidad antioxidante en fracción acuosa

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos por Sánchez et al. (2005) respecto a la vitamina C y ácido ascórbico al comparar los purés de tomate aplicando sometidos a diferentes tratamientos.

Tabla 12. Contenido de vitamina C (mg/L) en los diferentes purés (Sánchez et al., 2005).

Tratamiento	Ácido ascórbico	Vitamina C total
R	$130,4\pm 1,5d$	$151,4\pm 3,7b$
HP (400 MPa/25°C/15 min)	$79,8\pm 2,2a$	$106,6\pm 4,9a$
LPT (70°C/30 s)	$96,4\pm 3,7c$	$110,2\pm 6,5a$
HPT (90 °C/1 min)	$91,0\pm 5,3bc$	$111,2\pm 7,8a$
F (-38°C/15 min)	$127,8\pm 4,1d$	$154,1\pm 3,5b$
HPT (90°C/1 min) + F (-38°C/15 min)	$86,5\pm 2,5b$	$103,8\pm 1,9a$

El ácido ascórbico tuvo una oscilación desde $79,8\pm 2,2a$ en el puré HP hasta $130,4\pm 1,5d$ en el puré R, con una media de $102,0\pm 21,7$ mg/L. En el caso de la vitamina C total, fue desde $103,8\pm 1,9a$ en el puré HPT + F hasta $154,1\pm 3,5b$ en el puré F, teniendo así un promedio de $122,9\pm 23,3$ mg/L (Sánchez et al., 2005). El puré de tomate R junto con el F fueron los que mayor cantidad de ácido ascórbico mantuvieron, así como también sucedió con la vitamina C total. Los tratamientos térmicos y el HP no mostraron diferencias significativas en sus resultados en el caso de la vitamina C total, y en cuanto al ácido ascórbico sí que hubo ciertas diferencias significativas, siendo el puré LPT el que mantuvo mayor contenido de los tres. Se observa que, a pesar de que los tratamientos térmicos aplicados fueron cortos (30 s y 1 minuto), es la temperatura la responsable de las pérdidas de ácido ascórbico como se ha demostrado en gran cantidad de estudios. No obstante, pese a las pérdidas causadas, las propiedades antioxidantes de los diferentes purés son adecuadas y pueden mantenerse gracias a otros antioxidantes (Nicoli et al. 1997). En cuanto al puré HP, fue el que obtuvo peores resultados en lo que respecta al contenido de ácido ascórbico, probablemente causado por el tiempo prolongado del tratamiento (15 minutos) ya que la temperatura aplicada no fue excesivamente alta. Se descarta el factor de la temperatura en este aspecto, pues en estudios previos (Sánchez et al., 2003) se ha observado pérdidas en HP aplicando 400 MPa/40 °C/1 min

pero no aplicando 350 MPa/30 °C/2,5 min (Sánchez et al., 2005).

La capacidad antioxidante de un compuesto puede medirse mediante diferentes métodos. En el estudio mencionado de Sánchez et al., (2005) utilizaron uno de los más aplicados, la determinación mediante el uso de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) (Fig.9). Este radical libre se considera estable y dicho método se basa en la medición de la capacidad de eliminación que tienen los antioxidantes hacia él. Presenta un electrón impar en el átomo de nitrógeno que se reduce al recibir un átomo de hidrógeno procedente de los antioxidantes. Cuando el DPPH se mezcla con el antioxidante que dona el átomo de hidrógeno da lugar a la forma reducida del DPPH (Kedare y Singh, 2011) (Fig. 6).

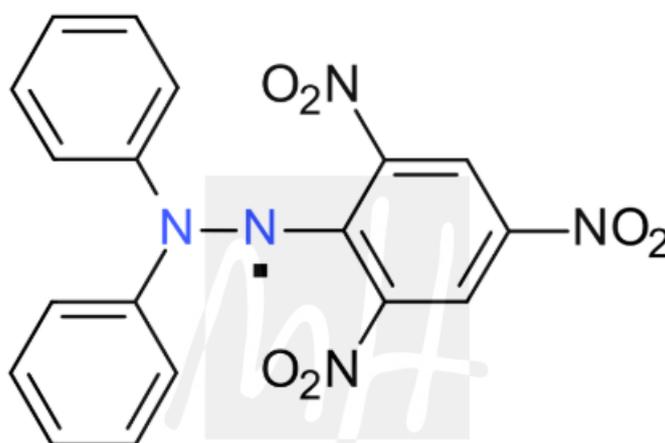


Fig. 9. Estructura química del radical libre DPPH (Ionita, 2021).

Los parámetros calculados en el estudio de Sánchez et al. (2005) fueron el EC_{50} , el cual refleja el agotamiento del 50% del DPPH inicial, así como el tiempo necesario para alcanzar dicho EC_{50} mediante el parámetro $T_{EC_{50}}$. También se calculó un factor que combina ambos parámetros, denominado eficiencia antirradical y expresado como $AE = 1/(EC_{50} \times T_{EC_{50}})$. El ensayo se aplicó tanto con fracción acuosa como con fracción orgánica, siendo los resultados obtenidos los siguientes.

Tabla 13. Parámetros de eliminación de radicales DPPH en purés de tomate en fracción acuosa (AC) (Sánchez et al., 2005).

Tratamiento	EC _{50AC} x10 ³ g peso seco/kg DPPH)	T _{EC50AC} (min)	AE _{AC} x10 ⁻³
R	54.05 ± 0.70ab	20.59 ± 1.18a	0.00090 ± 0.00004b
HP (400 MPa/25 °C/15 min)	70.26 ± 1.42c	28.76 ± 2.62bc	0.00050 ± 0.00004a
LPT (70 °C/30 s)	58.41 ± 0.71ab	28.92 ± 0.93bc	0.00059 ± 0.00001a
HPT (90 °C/1 min)	60.84 ± 5.68b	30.30 ± 1.64c	0.00055 ± 0.00008a
F (-38 °C/15 min)	52.56 ± 2.50a	22.92 ± 4.13ab	0.00083 ± 0.00019b
HPT (90 °C/1 min) + F (-38 °C/15 min)	61.03 ± 5.03b	28.73 ± 3.47bc	0.00058 ± 0.00012a

Los valores de EC_{50AC} (Tabla 13) variaron desde 52.56 ± 2.50a en el puré F hasta 70.26 ± 1.42c en el puré HP, mientras que en el parámetro T_{EC50AC} fueron desde 20.59 ± 1.18a en el puré crudo R hasta 30.30 ± 1.64c en el puré HPT. En el total de los purés, el R fue el que mejor resultados obtuvo, teniendo la mayor eficiencia antirradical. Seguido de este se encuentra el puré F con resultados comparables, siendo el mejor de los purés tratados en el momento del efecto de la actividad antioxidante. Se ha de tener en cuenta que tanto las muestras R como las F que han presentado mejores resultados en la cinética del efecto antioxidante fueron los que obtuvieron la mayor cantidad de ácido ascórbico (Tabla 12). El resto de los purés mostraron valores inferiores y sin diferencias significativas entre ellos. El ácido ascórbico por tanto desempeña un papel importante en la actividad antioxidante en la fracción acuosa hacia el DPPH. Se confirma así que la vitamina C es uno de los principales componentes hidrosolubles antioxidantes presentes en el tomate (Sánchez et al., 2005).

Los tratamientos térmicos tratados anteriormente suponen un gran valor a nivel de determinación de vitamina C en cuanto a la industria, debido a sus características donde se utilizan altas presiones, temperaturas de congelación muy bajas o un seguimiento muy estricto de la temperatura en la pasteurización. También es recomendable valorar procesos que se aplican al tomate a nivel más doméstico, teniendo en cuenta que es uno de los vegetales más consumidos a nivel mundial.

Iswari y Susanti (2016) decidieron realizar dicho estudio, en el cual valoraron cómo influyen

los diferentes tipos de procesado o cocinado en el tomate y su actividad antioxidante, incluyendo la vitamina C. Para su estudio escogieron la variedad *Lycopersicum esculentum* Mill, utilizando 12 kg para derivarlos en seis tipos de muestra diferentes, siendo estas: K1: tomate fresco en rodajas; K2: zumo de tomate con agua añadida (1:1); K3: tomate al vapor; K4: tomate hervido en agua; K5: tomate frito en aceite; K6: tomate salteado sin aceite. Para cada tipo de muestra se utilizaron 2 kg de tomate, y siendo la preparación de muestras la siguiente:

- K1: tomate fresco cortado en rodajas.
- K2: tomate hecho zumo y con adición de agua en proporción 1:1.
- K3: lavado de tomate, cortado en pequeños cubos y puesto al vapor durante 30 minutos.
- K4: lavado de tomate, cortado en pequeños cubos y añadido a agua hirviendo en proporción 1:1 durante 30 minutos.
- K5: lavado de tomate, cortado en pequeños cubos y frito en aceite de palma 30 minutos.
- K6: lavado de tomate, cortado en pequeños cubos y salteado sin aceite durante 30 minutos.

Las muestras procesadas se secaron posteriormente en un horno a 40 °C, se molieron en una licuadora y se filtraron por un tamiz de malla 100 para obtener el polvo de tomate. Posteriormente pesaron muestras de 50 g que colocaron en bolsas de papel filtro y cerrados con cuerda. Para la extracción utilizaron el método Soxhlet, donde las muestras en el papel filtro se colocaron en la parte inferior de un matraz con 300 mL de éter de petróleo. La pulpa se dejó airear para secarla. La extracción Soxhlet comenzó al agregar 350 mL de metanol y calentando el matraz a 65 °C, hasta que se obtuvo una solución de color claro, que se concentró con un evaporador a vacío a 60 °C. El extracto de metanol concentrado se añadió en 100 mL de agua y se separó tres veces con 100 mL de éter mediante un embudo de separación. Se concentraron las capas separadas de éter y la fracción acuosa que quedó restante también fue concentrada y diluida con metanol. La vitamina C se midió con un kit de ensayo colorimétrico de ácido ascórbico, así como también se utilizaron para medir la actividad antioxidante un kit colorimétrico TAC y el ensayo DPPH. Se midieron también las cantidades de licopeno (cromatografía) y β -caroteno (kit ELISA), además del α -tocoferol (kit ELISA). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 14 y 18.

Tabla 14. Valores promedio de vitamina C, α -tocoferol y actividad antioxidante de tomates con diferente procesado (Iswari y Susanti, 2016).

Muestras	Vitamina C (mg/100g)	α -tocoferol (mg/100g)	Actividad antioxidante (%)
K1 (crudo rodajas)	17,33a	0.30a	35.86a
K2 (zumo crudo)	18,78b	0.40b	36.19a
K3 (vapor)	22.98d	0.41b	38.35b

K4 (hervido)	15.87c	0.22c	30.85c
K5 (frito)	17.11a	0.28a	33.57d
K6 (salteado sin aceite)	19.21e	0.37b	37.02e

Los resultados de la vitamina C fueron variantes (Tabla 14), viendo mejoras significativas en las muestras procesadas, a excepción del tomate K4. El tomate K5 disminuyó ligeramente la cantidad de vitamina C, pero no representa una variación significativa. Se destaca el tomate K3 como el más adecuado para llevar a cabo a la hora de procesar el tomate y mantener o incluso aumentar la vitamina C de este.

George et al., (2011) quisieron estudiar los cambios que tienen lugar en el contenido de vitamina C comparando el tomate fresco, tomate procesado (puré) y tomate liofilizado, tanto rojos como amarillos. Utilizaron como tomate rojo *Solanum lycopersicum* L. De Ruitter) y como tomate amarillo (*Solanum lycopersicum* L. Séminis).

En la preparación de muestras, se cortaron los tomates en cubos de 1 cm³ y se congelaron a -30 °C, almacenadas posteriormente en nitrógeno líquido a -80 °C hasta obtener un polvo homogéneo. Las alícuotas se prepararon y las almacenaron a -80 °C durante un máximo de 3 meses hasta su análisis. Dichas muestras fueron tenidas en cuenta como tomate fresco, y para la preparación de muestras liofilizadas se tomaron alícuotas del proceso anteriormente descrito, con la finalidad de liofilizar durante una semana a -20 °C, posteriormente secar a 0,5 mbar y 0,1 mbar, a 10 °C. Las muestras obtenidas se almacenaron a -20 °C por un máximo de 3 meses hasta su análisis. La preparación del tomate procesado o puré de tomate se muestra en la Fig. 10.

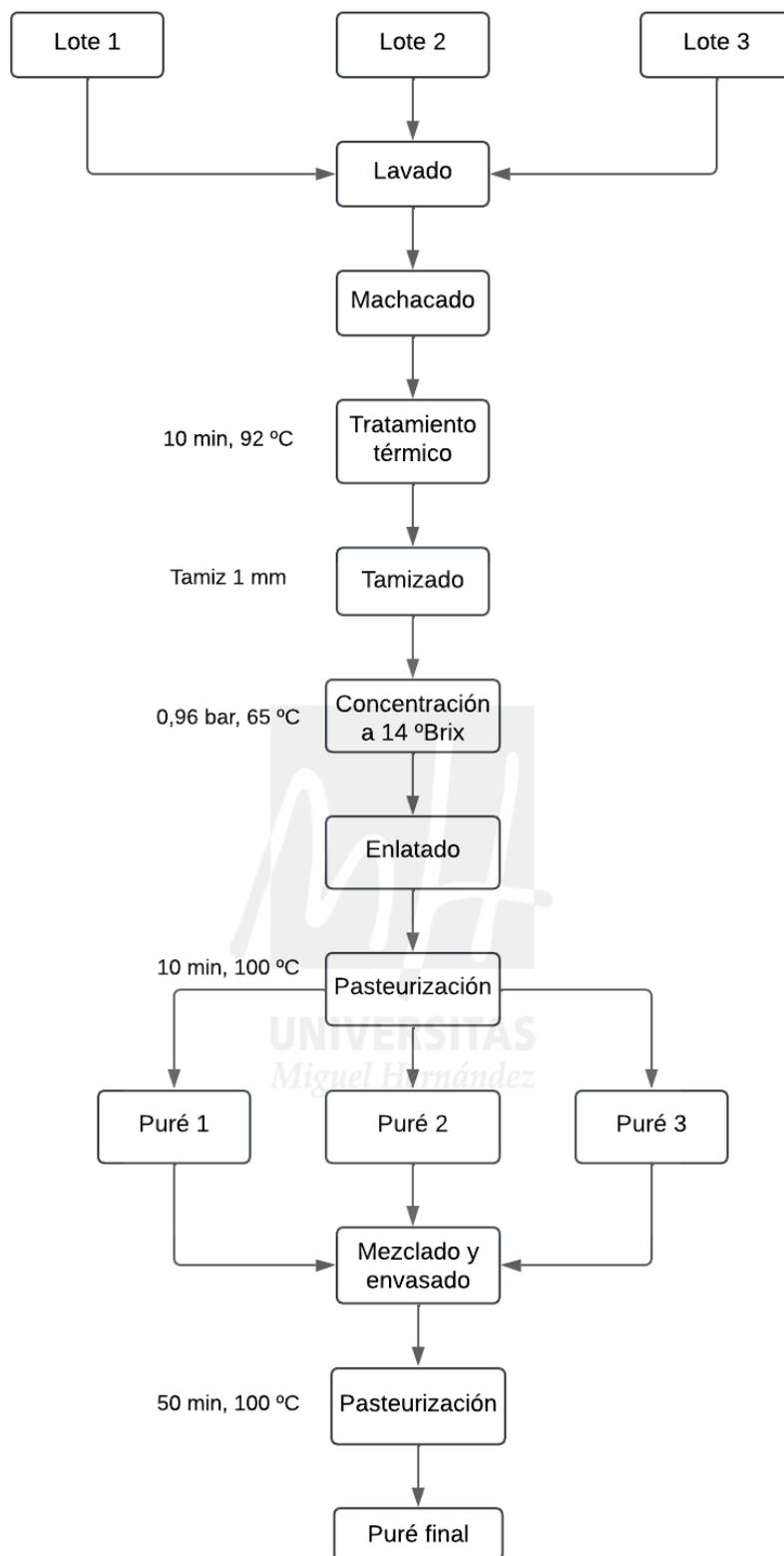


Fig. 10. Procesado de las muestras de las dos variedades de tomate para la obtención del formato puré (George et al., 2011).

La determinación de vitamina C de las muestras estudiadas se realizó teniendo en cuenta el ácido

L-ascórbico y el ácido deshidroascórbico. Se llevó a cabo una extracción con una solución ácida de ácido tricloroacético 0,3M, una conversión de ácido L-ascórbico a ácido deshidroascórbico mediante ascorbato oxidasa y una derivación con 1,2-o-fenilendiamina. Se cuantificó la vitamina C con HPLC con una fase inversa a 30 °C. Los resultados obtenidos en el análisis se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Contenido de vitamina C (mg/100 g peso seco) en tomate rojo y amarillo fresco, puré y liofilizado (George et al., 2011).

	Tomate rojo			Tomate amarillo		
	Fresco	Puré	Liofilizado	Fresco	Puré	Liofilizado
Vitamina C	262.4 ± 17.7	50.0 ± 2.4	290.0 ± 14.3	251.2 ± 17.0	50.0 ± 1.9	237.7 ± 7.7

El procesado en la elaboración del puré impactó severamente en el contenido de vitamina C tanto en el tomate rojo como en el amarillo, reduciendo ambos en torno al 80% de su contenido total. Las pérdidas son muy elevadas si se compara con el método aplicado por Sánchez et al., (2005) HPT (90 °C/1 min) (Tabla 12). Dicha diferencia se debe a las condiciones aplicadas por George et al. (2011) en el procesado, el cual somete a las muestras a un tratamiento térmico de 92 °C durante 10 minutos, una pasteurización a 100 °C durante 10 minutos y posteriormente otra pasteurización a 100 °C durante 50 minutos. Al comparar ambos estudios, se observa claramente el impacto que tienen los tratamientos térmicos que aplican altas temperaturas durante un tiempo prolongado.

Por otro lado, las muestras liofilizadas mostraron una cantidad de vitamina C muy similar a las muestras de tomate fresco. No obstante, cabe comentar que el tomate rojo incrementó un 10,5% la cantidad de vitamina C mientras que en el tomate amarillo esta disminuyó un 5,4%.

4.4.5. Efecto de diferentes tratamientos de procesado en carotenoides y en la capacidad antioxidante en fracción orgánica

El estudio realizado por Sánchez et al., (2005) con la fracción orgánica observó la vitamina E y los carotenoides presentes en el tomate, al ser compuestos lipofílicos. Observando los resultados obtenidos se confirman las afirmaciones realizadas por Tonucci et al., (1995) y Seybold et al., (2004) sobre el licopeno y β-caroteno como carotenoides mayoritarios en el tomate.

Tabla 16. Contenido de carotenoides (mg/L) y valor de vitamina A (RAE/L) de los distintos purés (Sánchez et al., 2005).

Tratamiento	Luteína	Epóxido de licopeno	Licopeno	γ -caroteno	B-caroteno	Carotenoides totales	Vit. A
R	0.28 \pm 0.06a	0.49 \pm 0.05a	9.93 \pm 1.04a	0.50 \pm 0.05a	3.78 \pm 0.37a	14.98 \pm 1.58a	0.33 \pm 0.03a
HP (400 MPa/25 °C/15 min)	0.48 \pm 0.05b	0.87 \pm 0.13d	14.76 \pm 1.22b	0.91 \pm 0.02d	5.13 \pm 0.40b	22.17 \pm 1.41b	0.46 \pm 0.03b
LPT (70°/30 s)	0.33 \pm 0.03a	0.63 \pm 0.08bc	8.62 \pm 0.59a	0.61 \pm 0.03bc	3.90 \pm 0.08a	14.10 \pm 0.72a	0.35 \pm 0.007a
HPT (90 °C/1 min)	0.28 \pm 0.06a	0.66 \pm 0.02c	9.47 \pm 1.38a	0.67 \pm 0.05c	3.79 \pm 0.26a	14.88 \pm 1.20a	0.34 \pm 0.02a
F(-38 °C/15 min)	0.36 \pm 0.04a	0.54 \pm 0.02ab	7.95 \pm 1.12a	0.68 \pm 0.06c	4.13 \pm 0.50a	13.66 \pm 0.07a	0.37 \pm 0.04a
HPT (90 °C/1 min) +F (-38 °C/5 min)	0.33 \pm 0.06a	0.63 \pm 0.06bc	8.21 \pm 1.26a	0.58 \pm 0.05ab	4.13 \pm 0.10a	13.89 \pm 1.22a	0.37 \pm 0.007a

Tabla 17. Parámetros de eliminación de radicales DPPH en purés de tomate en fracción orgánica (OR) (Sánchez et al., 2005).

Tratamiento	EC _{50OR} x10 ³ g peso seco/kg DPPH)	T _{EC50OR} (min)	AE _{OR} x10 ⁻³
R	458.79 \pm 55.03ab	40.67 \pm 1.49a	0.000054 \pm 0.000008bc
HP (400 MPa/25 °C/15 min)	416.97 \pm 14.40a	42.25 \pm 1.23ab	0.000057 \pm 0.000001c

LPT (70 °C/30 s)	627.27 ± 5.18c	48.59 ± 4.00b	0.000033 ± 0.000002a
HPT (90 °C/1 min)	411.90 ± 8.62a	40.79 ± 1.34a	0.000060 ± 0.000001c
F (-38 °C/15 min)	558.69 ± 7.34bc	41.62 ± 2.79a	0.000043 ± 0.000002ab
HPT (90 °C/1 min) + F (-38 °C/15 min)	600.87 ± 81.61c	41.47 ± 4.07a	0.000040 ± 0.000010ab

Los valores de EC_{50OR} variaron desde 411.90 ± 8.62a en el puré HPT hasta 627.27 ± 5.18c en el puré LPT, mientras que los valores de T_{EC50OR} fueron desde 40.67 ± 1.49a en el puré R hasta 48.59 ± 4.00b en el puré LPT. Sobre los resultados obtenidos (Tabla 17) se destaca el carácter antioxidante del licopeno sobre el resto de los carotenoides al estar más presente en el puré HP (Tabla 16), y habiendo obtenido el mejor resultado en la eficiencia antirradical frente al resto de muestras. No obstante, cabe destacar que dicha eficiencia antirradical es inferior al compararla con la vitamina C, confirmando así que esta vitamina es el compuesto presente en el tomate más efectivo a nivel antioxidante.

Los resultados obtenidos por Iswari y Susanti (2016) acerca de los diferentes tipos de cocinado y su influencia en los carotenoides se observan en la Tabla 16.

Tabla 18. Valores promedio de licopeno, β-caroteno y capacidad antioxidante total de tomates con diferente procesado (Iswari y Susanti, 2016).

Muestras	Licopeno (mg/100g)	β-caroteno (mg/100g)	Capacidad antioxidante total (mmol/g)
K1 (crudo rodajas)	27,48a	3334.742a	5.59a
K2 (zumo crudo)	32.11b	5618.310b	6.51b
K3 (vapor)	46.92c	5862.441c	7.64c
K4 (hervido)	19.44d	4274.178d	4.85d
K5 (frito)	20.93e	2327.700e	5.72a
K6 (salteado sin aceite)	35.28f	4976.526f	7.06e

Del mismo modo que con la vitamina C (Tabla 14), el método de cocinado más favorable para incrementar significativamente la cantidad de carotenoides (licopeno y β -caroteno) es el K3 (Tabla 18). El método K5 disminuyó la concentración de licopeno y β -caroteno respecto al tomate fresco en rodajas, siendo así el método menos recomendable para el consumo de carotenoides. El método K4, del mismo modo, disminuyó la concentración de licopeno incluso más que el método K5, en comparación con el tomate fresco en rodajas. Sin embargo, el β -caroteno vio incrementada su concentración. El resto de los métodos de cocinado (K2, K3 y K5) se consideran recomendables para asegurar un aporte correcto de carotenoides, al haber aumentado su concentración frente al tomate crudo en rodajas.

5. CONCLUSIONES

1. Las frutas y hortalizas son esenciales en la dieta por su aporte de vitaminas y beneficios para la salud.
2. El tomate es una hortaliza adecuada para la obtención de antioxidantes por su aporte de vitamina C y carotenoides.
3. El consumo de frutas y hortalizas frescas se ha reducido en España en las últimas 3 décadas, pero el tomate sigue siendo la hortaliza más consumida.
4. El consumo de conservas de hortalizas se ha mantenido en España desde 1990, representando las conservas de tomate la mitad del total de conservas consumidas.
5. El procesado del tomate puede modificar el valor nutricional de este al reducir la vitamina C, pero favorece la disponibilidad del licopeno.
6. Los tratamientos térmicos breves o moderados en temperatura son los más favorables para la retención de vitamina C, tales como la pasteurización a 70 – 90 °C durante un corto tiempo, así como la cocción al vapor es favorable para retener o incrementar la vitamina C.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Abdullahi, I. I., Abdullahi, N., Abdu, A. M., & Ibrahim, A. S. (2016). Proximate, mineral and vitamin analysis of fresh and canned tomato. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 13(2), 1163-1169.
2. Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (2019). Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre Ingestas Nutricionales de Referencia para la población española.

3. Agudo, A., Amiano, P., Barcos, A., Barricarte, A., Beguiristain, J. M., Chirlaque, M. D., ... & Tormo, M. J. (1999). Dietary intake of vegetables and fruits among adults in five regions of Spain. *European Journal of Clinical Nutrition*, 53(3), 174-180.
4. Ahmed, L., & Omer, R. (2020). Spectroscopic properties of Vitamin C: A theoretical work. *Cumhuriyet Science Journal*, 41(4), 916-928.
5. Aksoy, M. A., & Beghin, J. C. (Eds.). (2004). Global agricultural trade and developing countries. *Editorial: World Bank Publications*. ISBN: 0-8213-5863-4
6. Alda, L. M., Gogoasa, I., Bordean, D. M., Gergen, I., Alda, S., Moldovan, C., & Nita, L. (2009). Lycopene content of tomatoes and tomato products. *Journal of Agroalimentary Processes and technologies*, 15(4), 540-542.
7. Baranska, M., Schütze, W., & Schulz, H. (2006). Determination of lycopene and β -carotene content in tomato fruits and related products: comparison of FT-Raman, ATR-IR, and NIR spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 78(24), 8456-8461.
8. Base Española de Datos de Composición de Alimentos (2024). Consulta - Tomate.
9. Bergougnoux, V. (2014). The history of tomato: from domestication to biopharming. *Biotechnology advances*, 32(1), 170-189.
10. Borguini, R. G., & Ferraz Da Silva Torres, E. A. (2009). Tomatoes and tomato products as dietary sources of antioxidants. *Food Reviews International*, 25(4), 313-325.
11. Branthôme, F. X. (2020). Global Consumption of Tomato Products 2018/2019 Edition. *Tomato News*.
12. Buzby, J. C., Lin, B. H., Wells, H. F., Gucier, G., & Perez, A. (2008). Canned fruit and vegetable consumption in the United States: A report to the United States Congress.
13. Capobianco-Uriarte MdLM, Aparicio J, De Pablo-Valenciano J, Casado-Belmonte MdP (2021) The European tomato market. An approach by export competitiveness maps. *PLoS ONE* 16(5): e0250867.
14. Chen, Q. H., Wu, B. K., Pan, D., Sang, L. X., & Chang, B. (2021). Beta-carotene and its protective effect on gastric cancer. *World Journal of Clinical Cases*, 9(23), 6591.
15. Costa-Pinto, R., & Gantner, D. (2020). Macronutrients, minerals, vitamins and energy. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 21(3), 157-161.
16. Dong, J., Gruda, N., Li, X., Cai, Z., Zhang, L., & Duan, Z. (2022). Global vegetable supply towards sustainable food production and a healthy diet. *Journal of Cleaner Production*, 369, 133212.
17. Dorais, M., Papadopoulos, A. P., & Gosselin, A. (2002). Greenhouse tomato fruit quality. *John Wiley and Sons: New York*, 26, pp. 239-306, NY, USA.
18. Dorais, M., Ehret, D. L., & Papadopoulos, A. P. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews*, 7, 231-250.

19. Doseděl, M., Jirkovský, E., Macáková, K., Krčmová, L. K., Javorská, L., Pourová, J., Mercolini, L., Remião, F., Nováková, L., Mladěnka, P., & OEMONOM. (2021). Vitamin C—Sources, Physiological Role, Kinetics, Deficiency, Use, Toxicity, and Determination. *Nutrients*, *13*(2), 615.
20. Elango, P., & Asmathulla, S. (2017). A Systematic Review on Lycopene and its Beneficial Effects". *Biomedical and Pharmacology Journal*, *10*(4), 2113-2120.
21. Featherstone, S. (2016). Canned tomato products. En Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, A Complete Course in Canning and Related Processes (Fourteenth Edition). Editorial: Woodhead Publishing, pp. 199-228.
22. Florkowski, W. J., Klepacka, A. M., Nambiar, P. M., Meng, T., Fu, S., Sheremenko, G., & Sarpong, D. B. (2014). Consumer expenditures on fresh fruit and vegetables. *Postharvest handling*. Editorial: Academic Press, pp. 147-166.
23. Freedman, M. R., & Fulgoni III, V. L. (2016). Canned vegetable and fruit consumption is associated with changes in nutrient intake and higher diet quality in children and adults: National Health and Nutrition Examination Survey 2001-2010. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, *116*(6), 940-948.
24. Gautier, H., Rocci, A., Buret, M., Grasselly, D., Dumas, Y., & Causse, M. (2005). Effect of photoselective filters on the physical and chemical traits of vine-ripened tomato fruits. *Canadian Journal of Plant Science*, *85*(2), 439-446.
25. Gautier, H., Rocci, A., Buret, M., Grasselly, D., & Causse, M. (2005). Fruit load or fruit position alters response to temperature and subsequently cherry tomato quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *85*(6), 1009-1016.
26. Georgé, S., Tourniaire, F., Gautier, H., Goupy, P., Rock, E., & Caris-Veyrat, C. (2011). Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes. *Food Chemistry*, *124*(4), 1603-1611.
27. Gracia, A., & Albisu, L. M. (2001). Food consumption in the European Union: main determinants and country differences. *Agribusiness: an international journal*, *17*(4), 469-488.
28. Gul, K., Tak, A., Singh, A. K., Singh, P., Yousuf, B., & Wani, A. A. (2015). Chemistry, encapsulation, and health benefits of β -carotene-A review. *Cogent Food & Agriculture*, *1*(1), 1018696.
29. Idso, S. B., & Idso, K. E. (2001). Effects of atmospheric CO₂ enrichment on plant constituents related to animal and human health. *Environmental and experimental botany*, *45*(2), 179-199.
30. Ionita, P. (2021). The chemistry of DPPH· free radical and congeners. *International journal of molecular sciences*, *22*(4), 1545.

31. Iswari, R. S., & Susanti, R. (2016). Antioxidant activity from various tomato processing. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 8(1), 129-134.
32. Javed, I., Waseem, A., & Ammad, R. (2019). Vegetables as a source of important nutrients and bioactive compounds: their human health benefits. *MOJ Food Process Technol*, 7(4), 136-146.
33. Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of food science and technology*, 48, 412-422.
34. Kumar, K. S., Paswan, S., & Srivastava, S. (2012). Tomato-a natural medicine and its health benefits. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1(1), 33-43.
35. Kumar, A., Kumar, V., Gull, A., & Nayik, G. A. (2020). Tomato (*Solanum Lycopersicon*). *Antioxidants in vegetables and nuts-Properties and health benefits*, 191-207.
36. Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest biology and technology*, 20(3), 207-220.
37. Lee SeongEung, L. S., Choi YoungMin, C. Y., Jeong HeonSang, J. H., Lee JunSoo, L. J., & Sung JeeHye, S. J. (2018). Effect of different cooking methods on the content of vitamins and true retention in selected vegetables. *Food Science and Biotechnology*, 27(2), 333-342.
38. Lester, G. E. (2006). Environmental regulation of human health nutrients (ascorbic acid, β -carotene, and folic acid) in fruits and vegetables. *HortScience*, 41(1), 59-64.
39. Locascio, S. J. (2005). Management of irrigation for vegetables: past, present, and future. *HortTechnology*, 15(3), 482-485.
40. Lucha-López, M. O., Hidalgo-García, C., Lucha-López, A. C., Monti-Ballano, S., Márquez-Gonzalvo, S., Ferrández-Laliena, L., ... & Tricás-Moreno, J. M. (2023). Determinants of Consumption of Vegetables among the Spanish Population: A Cross-Sectional Study. *Foods*, 12(21), 4030.
41. Martin-Belloso, O., & Llanos-Barriobero, E. (2001). Proximate composition, minerals and vitamins in selected canned vegetables. *European Food Research and Technology*, 212, 182-187.
42. Martínez-Hernández, G.B., Boluda-Aguilar, M., Taboada-Rodríguez, A. *et al.* (2016). Processing, Packaging, and Storage of Tomato Products: Influence on the Lycopene Content. *Food Eng Rev* 8, 52–75.
43. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2024). Panel de consumo alimentario - Series anuales. <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-tendencias/panel-de-consumo-alimentario/series-anuales/default.aspx> . Consultado el 17/09/2024.

44. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2024). Producciones agrícolas - Frutas y hortalizas. https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/informacion_general.aspx . Consultado el 17/09/2024.
45. Montanari, A., Barone, C., Barone, M., Santangelo, A., Montanari, A., Barone, C., ... & Santangelo, A. (2018). Canned tomato sauces and beans: Industrial processes. *Thermal Treatments of Canned Foods*, 43-53.
46. Nicoli, M. C., Anese, M., Parpinel, M. T., Franceschi, S., & Lericci, C. R. (1997). Loss and/or formation of antioxidants during food processing and storage. *Cancer letters*, 114(1-2), 71-74.
47. Nwaichi, E. O., Chuku, L. C., & Oyibo, N. J. (2015). Profile of ascorbic acid, beta-carotene and lycopene in guava, tomatoes, honey and red wine. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(2), 39-43.
48. Organización Mundial de la Salud (2018). Alimentación sana. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet> . Consultado el 26/11/2024.
49. Periago, M. J., Martínez-Valverde, I., Ros, G., Martínez, C., & López, G. (2001). Propiedades químicas, biológicas y valor nutritivo del licopeno. *Anales de veterinaria de Murcia*, 17, 51-66.
50. Rao, A. V., Waseem, Z., & Agarwal, S. (1998). Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene. *Food Research International*, 31(10), 737-741.
51. Rickman, J. C., Bruhn, C. M., & Barrett, D. M. (2007). Nutritional comparison of fresh, frozen, and canned fruits and vegetables II. Vitamin A and carotenoids, vitamin E, minerals and fiber. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(7), 1185-1196.
52. Rock, C., Yang, W., Goodrich-Schneider, R., & Feng, H. (2012). Conventional and alternative methods for tomato peeling. *Food Engineering Reviews*, 4, 1-15.
53. Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., De Ancos, B., & Cano, M. P. (2003). Vitamin C, provitamin A carotenoids, and other carotenoids in high-pressurized orange juice during refrigerated storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3), 647-653.
54. Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., De Ancos, B., & Cano, M. P. (2006). Impact of high-pressure and traditional thermal processing of tomato purée on carotenoids, vitamin C and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(2), 171-179.
55. Seybold, C., Fröhlich, K., Bitsch, R., Otto, K., & Böhm, V. (2004). Changes in contents of carotenoids and vitamin E during tomato processing. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(23), 7005-7010.

56. Shinohara, Y., Suzuki, Y., & Shibuya, M. (1982). Effects of cultivation method, growing season and cultivar on the ascorbic acid content of tomato fruit. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 51(3), 338-343.
57. Slavin, J. L., & Lloyd, B. (2012). Health benefits of fruits and vegetables. *Advances in nutrition*, 3(4), 506-516.
58. Tonucci, L. H., Holden, J. M., Beecher, G. R., Khachik, F., Davis, C. S., & Mulokozi, G. (1995). Carotenoid content of thermally processed tomato-based food products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(3), 579-586.
59. Torres, C. A., Andrews, P. K., & Davies, N. M. (2006). Physiological and biochemical responses of fruit exocarp of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) mutants to natural photo-oxidative conditions. *Journal of Experimental Botany*, 57(9), 1933-1947.
60. Willcox, J. K., Catignani, G. L., & Lazarus, S. (2003). Tomatoes and cardiovascular health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43(1), 1-18.
61. Wojcik, M., Burzynska-Pedziwiatr, I., & Wozniak, L. A. (2010). A review of natural and synthetic antioxidants important for health and longevity. *Current Medicinal Chemistry*, 17(28), 3262-3288.
62. Wu, X., Yu, L., & Pehrsson, P. R. (2022). Are processed tomato products as nutritious as fresh tomatoes? Scoping review on the effects of industrial processing on nutrients and bioactive compounds in tomatoes. *Advances in Nutrition*, 13(1), 138-151.