



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Determinación de antioxidantes en alimentos funcionales

Alumno/a: **Fátima Escudero Amate**

Junio, 2023



UNIVERSIDAD DE
JAÉN



TRABAJO FIN DE GRADO

DETERMINACIÓN DE ANTIOXIDANTES EN ALIMENTOS FUNCIONALES

Firma de la alumna:

ALUMNA: Fátima Escudero Amate

Jaén, Junio, 2023

ÍNDICE

1. RESUMEN / ABSTRACT	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. Alimentos funcionales	2
2.1.1. Clasificación	3
2.1.1.1. Alimentos naturales	3
2.1.1.2. Alimentos modificados	5
2.2. El tomate como alimento funcional	7
2.2.1. Composición nutricional	8
2.2.2. Componentes bioactivos	8
2.2.2.1. Carotenoides	8
2.2.2.2. Compuestos fenólicos	10
2.2.2.3. Vitaminas y minerales	11
2.2.3. Aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica	13
3. OBJETIVOS	16
4. TÉCNICAS UTILIZADAS PARA LA EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL TOMATE	16
4.1. Técnicas convencionales	17
4.2. Técnicas no convencionales	17
5. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL TOMATE	22
5.1. Ensayos basados en la transferencia de átomos de hidrógeno (HAT)	22
5.1.1. Ensayo ORAC	22
5.2. Ensayos basados en la transferencia de electrones (SET)	24
5.2.1. Ensayo CUPRAC	25
5.2.2. Prueba FRAP	26
5.2.3. Método de Folin-Ciocalteu	27
5.3. Pruebas de modo mixto (HAT/SET)	28
5.3.1. Prueba ABTS	28
5.3.2. Prueba DPPH	29
6. DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL TOMATE	32
7. CONCLUSIONES	38
8. BIBLIOGRAFÍA	39

1. RESUMEN / ABSTRACT

En los últimos años la demanda de alimentos funcionales por parte de los consumidores ha experimentado un aumento exponencial debido a que estos, además de su contenido en nutrientes, aportan beneficios añadidos para la salud humana. En este Trabajo Fin de Grado se ha estudiado en concreto el tomate, alimento muy apreciado y demandado y que por su alto contenido en compuestos bioactivos puede ser considerado como un alimento funcional natural. Se ha realizado un estudio de su composición, tanto nutricional como en compuestos bioactivos, así como de las propiedades fisiológicas de estos últimos. Por otra parte, se han revisado las técnicas utilizadas habitualmente para la extracción de estos compuestos del tomate y las metodologías empleadas para la determinación de su actividad antioxidante. Finalmente, se han estudiado algunas de las aplicaciones del tomate en industrias tales como la alimentaria, farmacéutica y cosmética, que ponen de manifiesto su carácter de alimento funcional.

In recent years, the demand for functional foods by consumers has experienced an exponential increase because these, in addition to their nutrient content, provide added benefits for human health. In this Final Degree Project, tomato has been specifically studied, a highly appreciated and demanded food and which, due to its high content of bioactive compounds, can be considered a natural functional food. A study of its composition, nutrient and bioactive compounds, as well as the physiological properties of the latter, was conducted. Furthermore, the techniques commonly used to extract these compounds from the tomato and the methodologies used to determine their antioxidant activity were examined. Finally, some applications of tomato in industries such as food, pharmaceuticals and cosmetics have been studied, which shows its nature as a functional food.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Alimentos funcionales

En la década de los 80 se propuso por primera vez el término alimento funcional en Japón, siendo definido como *un alimento procesado que contiene compuestos biológicamente activos que llevan a cabo una función específica en las funciones fisiológicas del organismo humano, además de su valor nutricional*. En 1991, el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar introdujo una regulación para los alimentos funcionales denominada “*alimentos para usos específicos de salud*” (FOSHU) en Japón. Más tarde, el comienzo de la fortificación de alimentos se llevó a cabo en los países occidentales con el fin de superar las deficiencias nutricionales existentes, frecuentemente con la adición de vitaminas y minerales.

En la Unión Europea, la *European Commission Concerted Action on Functional Food Science in Europe (FUFOSE)*, coordinada por el *International Life Sciences Institute Europe (ILSI Europe)*, llegó a un consenso en 1999 para crear una red europea con los siguientes objetivos: evaluar críticamente la base científica requerida para proporcionar evidencia de que los nutrientes y componentes alimentarios específicos afectan positivamente a las funciones objetivas en el cuerpo, examinar la ciencia disponible desde una perspectiva impulsada por funciones en lugar de una perspectiva impulsada por productos, y llegar a un consenso sobre las modificaciones específicas de los alimentos y los constituyentes de los alimentos y las opciones para su aplicación (International Life Sciences Institute (ILSI, 1999). De acuerdo con esta red, un alimento puede considerarse funcional si se demuestra que afecta de manera beneficiosa sobre una o más funciones específicas del cuerpo, más allá de sus efectos nutricionales, de una manera que mejore el estado de salud, bienestar o reducción de riesgo de enfermedades. Además, estos alimentos tienen que seguir teniendo el aspecto de alimentos y deben mostrar sus efectos beneficiosos al tomarlos en cantidades que se consideran normales en la dieta.

En general, estos alimentos funcionales a menudo se confunden con los nutracéuticos. La diferencia entre ambos términos es clara ya que, como hemos mencionado anteriormente, los alimentos funcionales tienen aspecto de alimento mientras que los nutracéuticos son productos elaborados a partir de un alimento pero que se venden en forma de píldoras, polvo u otras formas que generalmente no se asocian con los alimentos. No obstante, tienen en común que ambos poseen

propiedades beneficiosas y reducen la posibilidad de contraer ciertas enfermedades frecuentes en la sociedad actual como la obesidad, el cáncer o la hipertensión entre otras (Tur & Bibiloni, 2016).

En los últimos años se ha producido un continuo aumento de la esperanza de vida debido a que los consumidores son cada vez más conscientes de su salud y prestan más atención a sus estilos de vida y dietas, lo que ha impulsado la demanda de alimentos funcionales a nivel mundial. Como consecuencia de esto, el mercado de estos productos está globalizado, destacando las zonas de Europa, América del Norte y Rusia (Figura 2.1).



Figura 2.1: Distribución del mercado de los alimentos funcionales en el mundo.
Fuente: (Mordor Intelligence, n.d.)

2.1.1. Clasificación

Los alimentos funcionales se pueden clasificar en dos categorías, los naturales y los modificados o fortificados.

2.1.1.1. Alimentos naturales

Estos son alimentos que no sufren ninguna modificación; a este grupo pertenecen algunas frutas, verduras, pescado, frutos secos, legumbres y cereales. Estos alimentos son una fuente rica en antioxidantes, entre otros compuestos bioactivos, siendo estos de gran importancia por proteger de los efectos tóxicos de los oxidantes, además de prevenir o retrasar algunos tipos de daños a las células.

En la figura 2.2 se muestra algunos de los alimentos naturales de origen vegetal que se consideran funcionales divididos en tres grupos: verduras, cereales y legumbres, frutos secos y frutas. Dentro del primer grupo mencionado se encuentra el brócoli, espinacas, soja, trigo sarraceno y arroz integral. En el segundo grupo se encuentran las nueces y almendras. En el último grupo encontramos el tomate, arándanos,

granada y mango. Además, podemos observar la gran cantidad de componentes bioactivos que estos poseen, así como algunas de las propiedades beneficiosas que estos aportan sobre la salud.

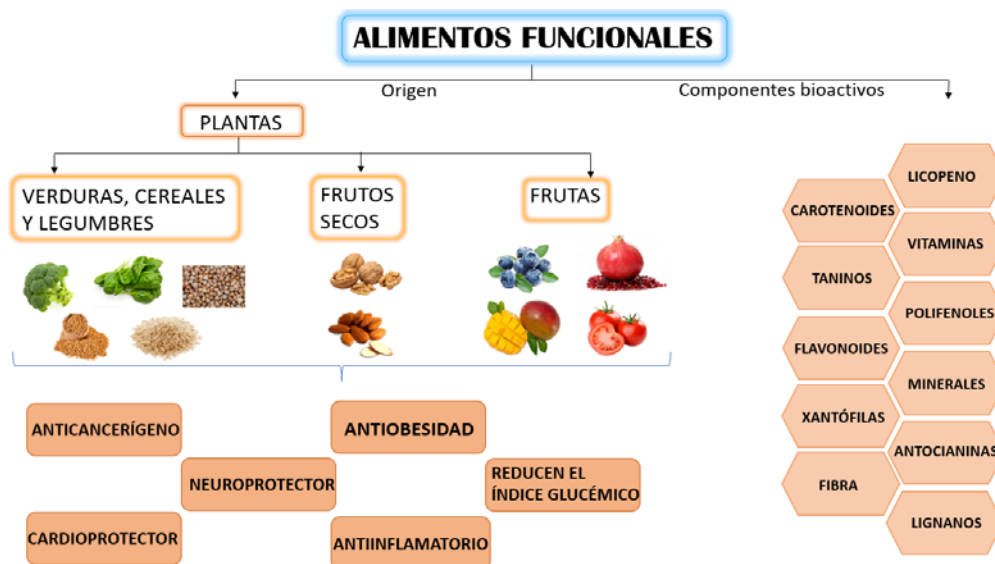


Figura 2.2: Alimentos funcionales naturales de origen vegetal, componentes bioactivos y beneficios para la salud (Elaboración propia)

El pescado azul es el alimento funcional animal más destacado, en él encontramos ácidos grasos omega 3 que a su vez se dividen en ácido docosahexaenoico (DHA) y el ácido eicosapentaenoico (EPA) que son compuestos bioactivos que se pueden añadir a los alimentos para crear alimentos funcionales con propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antiinflamatorias, neuroprotectoras y cardioprotectoras (Figura 2.3) (Ruxton *et al.*, 2004; Vonschacky & Harris, 2007). Cabe destacar que para que el omega 3 tenga efecto en el organismo es necesario que haya un equilibrio con el omega 6, ya que un exceso de este bloquearía los beneficios del primero (Simopoulos, 2004).

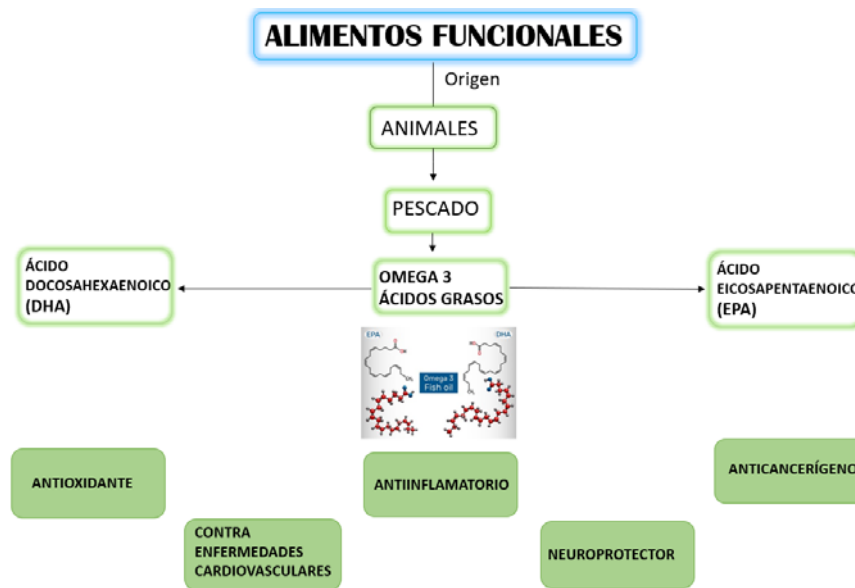


Figura 2.3: Alimentos funcionales naturales de origen animal, compuestos bioactivos y beneficios para la salud (Elaboración propia)

Otros compuestos bioactivos en los alimentos funcionales son los prebióticos que son componentes alimentarios que nutren el crecimiento y la actividad de un solo y/o grupo específico de microorganismos que residen en el tracto gastrointestinal, mejorando así la salud del huésped (*Gibson & Roberfroid, 1995*). Estos están generalmente presentes en distintas frutas, verduras, cereales y legumbres y los más comunes son la inulina y fructooligosacáridos (FOS) (*Grajek et al., 2005*) que son unas fibras solubles formadas por unidades de fructosa.

2.1.1.2. Alimentos modificados

Estos son alimentos que han sido enriquecidos o fortificados con un nutriente específico para mejorar las deficiencias de micronutrientes de la población. La fortificación se consigue con la adición de nutrientes como vitamina C, ácido fólico y minerales, con la adición de probióticos o prebióticos, fibras o incluso con ácidos grasos como el ω -3, entre otras posibles adiciones (*Bigliardi & Galati, 2013*).

Hoy en día, los alimentos no solo se consumen para satisfacer el hambre y la nutrición necesaria, sino también para prevenir trastornos relacionados con la nutrición y para el bienestar mental y físico de un individuo. Por ello, los nutricionistas y tecnólogos de

alimentos se esfuerzan por desarrollar alimentos modificados que mejoren a los naturales.

Una modificación importante es conseguir productos cárnicos funcionales que posean antioxidantes y antimicrobianos naturales, que también tengan un contenido bajo en grasa y sodio y que estén enriquecidos con fibras dietéticas y ácidos grasos ω -3 y ω -6 (Hygreeva *et al.*, 2014); de esta forma se mejora la calidad nutricional, textura, sabor, color y vida útil de estos productos, además de reducir las posibilidades de riesgo de enfermedades crónicas ya que los productos cárnicos por si solos presentan inconvenientes como la ausencia de fibra dietética y presencia de grasas saturadas (Das *et al.*, 2020). Un ejemplo de este tipo es la adición de linaza y pasta de tomate a hamburguesas de vacuno para mejorar el perfil de ácidos grasos y propiedades nutricionales (Valenzuela-Melendres *et al.*, 2018). Otro ejemplo son los huevos que se enriquecen con ácidos grasos ω -3, a los que se le puede añadir también selenio, vitaminas D, E, B12 y ácido fólico (Siró *et al.*, 2008). Además de estos, existen gran cantidad de alimentos fortificados como la leche, untables, productos de panadería, etc.

Por otro lado, los probióticos son microorganismos vivos que, al ingerirlos en cierta cantidad establecida ejercen efectos beneficiosos en la salud (Tormo Carnicé, 2006). Las bacterias del ácido láctico son uno de los principales microorganismos que se utilizan como probióticos potenciales que aportan gran cantidad de beneficios a la salud humana, algunas de estas bacterias habitan de forma natural en el tracto intestinal, mientras que otras se utilizan en la industria alimentaria ya que proporcionan sabor, textura y poseen propiedades conservantes (Grajek *et al.*, 2005); es por ello que los probióticos pueden ser considerados un importante componente bioactivo

presente en alimentos lácteos fermentados como yogur, queso, kéfir, kimchi y kombucha.

En la figura 2.4 se muestran los beneficios que aportan los probióticos y prebióticos en conjunto para la salud.

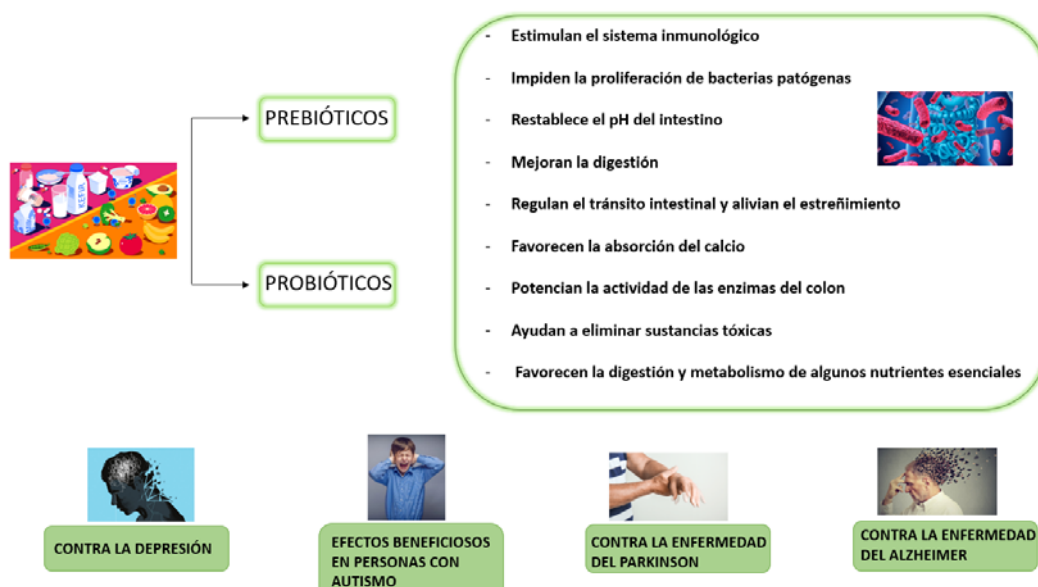


Figura 2.4: Beneficios de los probióticos y prebióticos sobre la salud (Elaboración propia)

2.2. El tomate como alimento funcional

El tomate es el fruto de una planta que pertenece a la familia de las *Solanaceae*. Esta familia está formada por más de 3000 especies entre las que se incluyen muchas plantas de importancia económica, siendo *Solanum* el género más grande, que abarca entre 1250 y 1700 especies presentes en continentes templados y tropicales, destacando por su diversidad morfológica y ecológica. El nombre del tomate fue establecido en 1753 por Linnaeus como *Solanum Lycopersicum* (Bergougroux, 2014) y desde el punto de vista botánico es una fruta y no una hortaliza, como frecuentemente se cree. Es una fruta ampliamente consumida en multitud de formas como fresco, seco, en salsa, ketchup, guisado, debido a sus propiedades beneficiosas para la salud, especialmente como fuente importante de antioxidantes (Lenucci et al., 2006).

En cuanto a su producción, el principal productor es Estados Unidos, seguido de China, Italia, España y Turquía (Observatorio tecnológico del tomate para la industria, 2023).

2.2.1. Composición nutricional

En la tabla 2.1 se recogen los valores de la composición nutricional del tomate.

Tabla 2.1: Composición nutricional del tomate (Base de Datos Española de Composición de Alimentos (BEDCA))

Parámetro	Valor
Energía total (kcal/100 g)	19
Grasa total (g/100 g)	0,1
Proteína total (g/100 g)	0,9
Agua (humedad) (g/100 g)	93,9
Fibra, dietética total (g/100 g)	1,1
Carbohidratos (g/100 g)	3,5

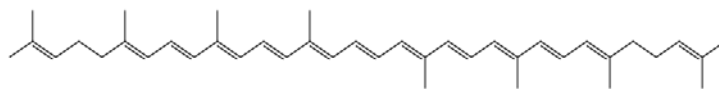
2.2.2. Componentes bioactivos

El tomate se considera un alimento funcional ya que posee gran cantidad de compuestos bioactivos, entre los que destacan numerosos compuestos antioxidantes que incluyen: carotenoides como el β -caroteno, un precursor de la vitamina A; licopeno, que es en gran parte responsable del color rojo de la fruta; luteína; minerales; vitaminas como el ácido ascórbico y tocoferoles; y compuestos fenólicos, como flavonoides y ácidos hidroxicinámicos (Kotíková et al., 2011); también posee fitoesteroles, que actúan bloqueando la absorción del colesterol a nivel intestinal.

En cuanto al contenido en compuestos bioactivos, el tomate ocupa el primer lugar en España como fuente de licopeno (71,6%), segundo lugar como fuente de vitamina C (12%) y β -caroteno (17,2%) y tercero como fuente de vitamina E (6%) (García-Valverde et al., 2013).

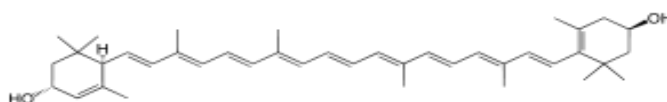
2.2.2.1. Carotenoides

El licopeno (Figura 2.5) y β -caroteno (Figura 2.6) son los carotenoides más abundantes en el tomate. El β -caroteno, también llamado provitamina A, tiene importantes funciones biológicas ya que se transforma enzimáticamente en retinal en la mucosa intestinal para luego ser convertido en retinol (Vitamina A), que es imprescindible para una correcta visión. Por otra parte, el licopeno es el compuesto bioactivo predominante en el tomate y ha sido ampliamente estudiado durante la

C/C=C\C(C)/C=C\C(C)/C=C\C(C)/C=C\C(C)/C=C\C(C)/C=C\C(C)/C=C\C(C)/C=C\C(C)/C=C\C(C)/C=C\[illegible]

El licopeno es antioxidante porque neutraliza la acción oxidante de los radicales libres, antes de que logren dañar el organismo, proporcionando un electrón a las especies inestables. Además, el consumo de alimentos ricos en licopeno y su aumento en sangre se asocia con la disminución en el riesgo de padecer algunos tipos de cáncer (*Giovannucci et al., 1995*). Varios estudios *in vitro* e *in vivo* han demostrado las funciones del licopeno como factor preventivo en la lucha contra la formación o el desarrollo de cánceres en humanos, como los de próstata, pulmón y mama (*Mirahmadi et al., 2020*). De todos ellos, existe mayor evidencia en los estudios realizados hasta la fecha en el caso del cáncer de próstata. Este cáncer es uno de los más comunes y el tercero que causa más muertes por cáncer en hombres. En varios estudios se ha demostrado que el licopeno reduce la proliferación de líneas celulares de cáncer de próstata dependientes o independientes de andrógenos (*Ford et al., 2011*). Además, se encontró que la ingesta de productos ricos en licopeno ocasionaba que los niveles de PSA se redujeran en pacientes con cáncer de próstata (*Rao & Agarwal, 2000*).

Otro carotenoide que se encuentra en el tomate y que aporta propiedades beneficiosas para la salud es la luteína (Figura 2.7), que es un pigmento amarillo. Actuando reduciendo el daño oxidativo que produce la luz azul en la mácula y el cristalino de los ojos. Además, neutraliza las especies reactivas del oxígeno y radicales libres, que ocasionan daños en las membranas de las células del tejido ocular. Se ha encontrado que altas concentraciones de luteína en sangre pueden llegar a reducir hasta alrededor de un 40% el riesgo de cataratas (*Karppi et al., 2012*).



9

2.2.2.2. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos se encuentran en casi todas las plantas, microorganismos, hongos e incluso tejidos animales y presentan gran diversidad estructural y variaciones en la composición química (Gulcin, 2020). Su cantidad en frutos depende fuertemente del grado de madurez, variedad, clima, composición del suelo, ubicación geográfica y condiciones de almacenamiento entre otros factores (Haminiuk et al., 2012). Los compuestos fenólicos se agrupan en ácidos fenólicos (ácidos hidroxicinámicos y ácidos benzoicos), flavonoides, estilbenos, lignanos y taninos. Esta clasificación generalmente depende del número de anillos fenólicos que contienen y todos tienen en común que poseen uno o más grupos hidroxilo directamente unidos al anillo aromático.

En el tomate se han encontrado varios compuestos fenólicos, entre los que destacan flavonoides y ácidos fenólicos. Dentro del grupo de los flavonoides, contiene naringenina, kaempferol-3-rutinósido, rutina y quercetina.

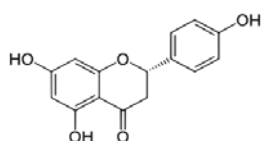


Figura 2.8: Naringenina

La naringenina (Figura 2.8) es un flavonoide que pertenece al grupo de las flavanonas. Se distribuye ampliamente en varios cítricos, como los pomelos, y otros como el tomate y las cerezas entre otras frutas, encontrándose también en forma de glucósidos. Este compuesto tiene efectos antioxidantes, antitumorales, antivirales, antibacterianos, antiinflamatorios, antiadipogénicos y cardioprotectores (Salehi et al., 2019).

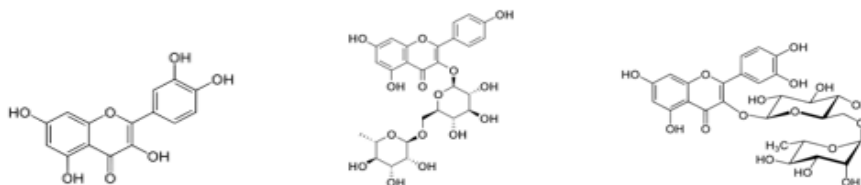


Figura 2.9: Quercetina, kaempferol-3-rutinósido y rutina, respectivamente

La quercetina, el kaempferol-3-rutinósido y la rutina (Figura 2.9) son flavonoides que pertenecen al grupo de los flavonoles. La quercetina tiene efectos antioxidantes y antiinflamatorios, puede destruir células cancerosas, controlar el azúcar en la sangre

y ayudar a prevenir enfermedades cardíacas (Song et al., 2020; Zheng et al., 2017). El kaempferol tiene propiedades antiinflamatorias (Devi et al., 2015) y la rutina tiene efectos gastroprotectores, hepatoprotectores y antidiabéticos (Hosseinzadeh & Nassiri-Asl, 2014).

Dentro de los ácidos fenólicos del tomate, se encuentran mayoritariamente los ácidos hidroxicinámicos *p*-cumárico, cafeico, clorogénico y ferúlico (Figura 2.10).

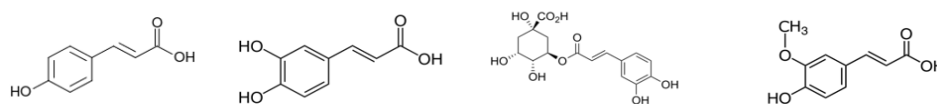


Figura 2.10: De izquierda a derecha, ácido *p*-cumárico, ácido cafeico, ácido clorogénico y ácido ferúlico

Estos ácidos hidroxicinámicos tienen poderosos efectos biológicos como actividad antioxidante, actividad antibacteriana, propiedades anticancerígenas y efectos antiinflamatorios, al igual que los flavonoides (Szabo et al., 2022).

2.2.2.3. Vitaminas y minerales

El tomate posee mayoritariamente vitaminas A, E y C, que tienen gran poder antioxidante. La vitamina A es buena para mantener el cabello fuerte y brillante, además, también es buena para la piel, huesos, dientes y ojos ya que es capaz de mejorar la visión y prevenir el desarrollo de la ceguera nocturna. La vitamina C tiene propiedades vasodilatadoras, reduce el nivel de plomo en sangre, facilita el proceso de crecimiento de los tejidos conectivos en la cicatrización, ayuda al procesamiento de la insulina y la glucosa, y por tanto a controlar la diabetes, previene de trastornos oculares como las cataratas, es útil contra el cáncer y ayuda al buen funcionamiento del corazón y cerebro. Además, esta vitamina es la más importante en la actividad antioxidante hidrofílica. En cuanto a la vitamina E, tiene gran poder para combatir la aparición y desarrollo de las células cancerosas, mejora la fertilidad, previene las cataratas, regula los niveles de colesterol y disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares.

El tomate también posee cantidades pequeñas de vitaminas del grupo B (B1, B2, B3, B6 y B9). Este grupo de vitaminas son importantes para el buen funcionamiento de algunas enzimas y para el crecimiento, desarrollo y funcionamiento de las células del cuerpo. Además, la vitamina B3 mejora los niveles de colesterol.

En la tabla 2.2 se muestra el contenido en vitaminas del tomate.

Tabla 2.2: Contenido en vitaminas del tomate (*Base de Datos Española de Composición de Alimentos (BEDCA)*)

Vitamina	Valor
<i>Vitamina A (µg/100 g)</i>	82
<i>Vitamina E (mg/100 g)</i>	0,89
<i>Folato (B9) (µg/100 g)</i>	29
<i>Equivalentes de niacina (B3) (mg/100 g)</i>	0,8
<i>Riboflavina (B2) (mg/100 g)</i>	0,04
<i>Tiamina (B1) (mg/100 g)</i>	0,06
<i>Piridoxina (B6) (mg/100 g)</i>	0,1
<i>Vitamina C (mg/100 g)</i>	19

El tomate también posee una cantidad significativa de minerales, siendo el más destacado con diferencia el potasio. Además de este, posee calcio, hierro, magnesio, sodio, fósforo, yodo, selenio y zinc en cantidades significativas. El calcio es fundamental en el cultivo del tomate ya que, a bajas concentraciones de este mineral, el fruto enferma y comienza a pudrirse. El hierro es un constituyente de muchas enzimas en el metabolismo del tomate, al igual que el zinc, por lo que una falta de estos minerales afecta al crecimiento de la planta. El potasio participa en el rápido crecimiento, floración y maduración del tomate, por tanto un alto contenido en potasio significa buena calidad de fruto. El magnesio es un componente de la clorofila, pectina y ácidos orgánicos, y su deficiencia es común en tomates cultivados en invernadero. El sodio mejora el sabor y firmeza de los tomates. El fósforo ayuda a iniciar el crecimiento de las raíces del tomate. El yodo participa en el crecimiento y metabolismo. Por último, el selenio es uno de los mejores micronutrientes con poder antioxidante y además, participa en el crecimiento, productividad del tomate (*Sainju et al., 2003*).

En la tabla 2.3 se muestra el contenido de minerales del tomate.

Tabla 2.3: Contenido en minerales del tomate ((Base de Datos Española de Composición de Alimentos (BEDCA))

Mineral	Valor
<i>Calcio (mg/100 g)</i>	11
<i>Hierro (mg/100 g)</i>	0,5
<i>Potasio (mg/100 g)</i>	236
<i>Magnesio (mg/100 g)</i>	10
<i>Sodio (mg/100 g)</i>	18
<i>Fósforo (mg/100 g)</i>	22
<i>Ioduro (µg/100 g)</i>	2,2
<i>Selenio (µg/100 g)</i>	0,99
<i>Zinc (mg/100 g)</i>	0,2

2.2.3. Aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica

Como se ha comentado anteriormente, los tomates son ricos en carotenoides y estos poseen una importante actividad antioxidante y un color intenso, por lo que sus extractos se utilizan como colorantes y antioxidantes en la industria alimentaria.

La mayor parte de la producción del tomate se destina a la elaboración de productos como zumo, ketchup, salsa de tomate, tomate frito, tomate en polvo, etc. El procesado del tomate genera residuos a los que se les denomina subproductos y están constituidos principalmente por la piel y semillas. La piel del tomate es rica en fibra y licopeno, teniendo ambas propiedades beneficiosas para la salud. Las semillas por su parte son ricas en ácidos grasos insaturados que previenen enfermedades cardiovasculares. Por ello, hay un enorme interés tanto nutricional como tecnológico por la formulación de alimentos con un mejor valor nutritivo a partir de estos subproductos.

En la formulación de alimentos con la adición de subproductos del tomate se obtiene doble beneficio, el obtenido por el aumento del valor nutritivo del alimento y el obtenido por dar salida al residuo que se genera en la industria, obteniendo así ventajas medioambientales a parte de las económicas y sociales.

Un ejemplo de aplicación en la industria es la mejora de productos cárnicos con la adición de productos o subproductos del tomate. Los principales parámetros de calidad de la carne para los consumidores son el color, apariencia y textura, propiedades que pueden ser preservadas mediante el uso de licopeno (*Domínguez et*

al., 2020). Así mismo, con la adición de productos o subproductos del tomate se pretende disminuir la cantidad de nitritos que tienen estos productos y la oxidación lipídica que tiene lugar durante la elaboración y conservación. Los productos cárnicos tienden a decolorarse en las etapas iniciales del almacenamiento, y para evitar este proceso se añaden habitualmente nitritos, cuya ingesta en grandes cantidades puede llegar a ocasionar ciertos problemas de salud; sin embargo, no representan riesgo toxicológico en los productos cárnicos ya que este valor está regulado y se añade en pequeñas cantidades. Aunque las concentraciones de nitritos que se permite adicionar no sean perjudiciales para la salud, se ha considerado eliminar o reducir la cantidad de estos sustituyéndolos por productos derivados del tomate (*Eyiler & Oztan, 2011*). Los nitritos se deben sustituir por compuestos que aporten un color similar al conseguido por ellos y que actúen como antioxidantes, cosa que se consigue con los productos derivados del tomate por todos los compuestos bioactivos que poseen, en especial, el licopeno. Además, se ha considerado que la adición de productos derivados del tomate a los productos cárnicos disminuye la oxidación lipídica, hecho que se ha atribuido a los niveles de licopeno, ácido ferúlico y ácido cafeico que poseen estos derivados (*Calvo, 2015*).

Además de la carne, los productos lácteos son comunes en la Dieta Mediterránea, así como en cualquier dieta variada y equilibrada. Estos en un tiempo relativamente corto experimentan cambios en el olor y sabor. La adición de aceite de licopeno a estos productos como es el caso del queso durante su elaboración, conduce a una mayor actividad antioxidante, mejora en la capacidad de fusión y mejores características sensoriales (*Bakry, 2021*). Otro ejemplo podría ser la mantequilla en la que al añadirse licopeno aumenta de forma clara su estabilidad ante la oxidación en el almacenamiento (*Abid et al., 2017*). El licopeno se aplica también como ingrediente funcional, en cantidades de 3 a 5%, en algunos productos de panadería como pasteles y galletas, lo que es suficiente para mejorar su capacidad antioxidante, color y propiedades sensoriales (*Trombino et al., 2021*). También se añaden subproductos del tomate a pan o “muffins” para mejorarlos en cuanto al contenido en fibra, vitamina C, licopeno, potasio, magnesio, calcio, hierro y actividad antioxidante (Tabla 2.4) (*Mehta et al., 2018*).

Tabla 2.4: Mejora de los parámetros nutricionales en pan y “muffins” con subproductos del tomate.
Fuente: (Mehta et al., 2018)

<i>Parámetro</i>	Pan	Pan fortificado con subproductos del tomate	“Muffins”	“Muffins” fortificados con subproductos del tomate
<i>Fibra (g/100 g)</i>	2,00	4,05	2,99	3,52
<i>Vitamina C (g/100 g)</i>	1,23	7,95	1,12	5,51
<i>Actividad antioxidante (%)</i>	11,20	48,70	9,30	45,30
<i>Licopeno (mg/100 g)</i>	ND	0,45	ND	0,40
<i>Calcio (mg/100 g)</i>	22,39	27,45	11,30	14,19
<i>Hierro (mg/100 g)</i>	2,50	2,90	1,49	3,48
<i>Magnesio (mg/100 g)</i>	37,18	44,93	25,50	28,62
<i>Potasio (mg/100 g)</i>	133,74	197,61	71,53	100,39

ND: no detectado

El licopeno también aporta beneficios en su uso como antimicrobiano en envases de bajo precio (Szabo et al., 2020) y en la industria farmacéutica. El empleo como antimicrobiano se demostró con la preparación de film de alcohol polivinílico (PVA) mezclado con ácido itacónico y quitosano enriquecido con subproductos del procesamiento del tomate; esta adición no solo aportó poder antimicrobiano a los envases, sino que también mejoró sus propiedades físicas. Además, se han desarrollado resinas con subproductos del tomate para recubrir la parte interior de envases metálicos que contienen alimentos, estas proporcionan propiedades anticorrosivas frente a la sal y otros líquidos, son inofensivas medioambientalmente y se adhieren perfectamente al metal. Un ejemplo de aplicación en la industria farmacéutica es en la elaboración de suplementos para combatir enfermedades cardiovasculares, ya que el licopeno tiene actividad antiagregante plaquetaria (Concha-Meyer et al., 2020). También está probado su uso contra la diabetes, con una formulación de polvo de cáscara de tomate seco, siendo esta capaz de influir en la glucemia a través de un mecanismo de ahorro de insulina, produciendo concentraciones pico más bajas respecto a la glucosa de referencia (Tenore et al., 2020).

Por otro lado, puesto que los carotenoides brindan protección a la piel contra el daño oxidativo, son muy útiles en productos cosméticos, teniendo como único problema el aporte de un color amarillento y de un olor diferente a lo habitual en estos productos (Trombino et al., 2021).

3. OBJETIVOS

El objetivo general de este Trabajo Fin de Grado es el llevar a cabo una revisión bibliográfica de los componentes bioactivos del tomate y productos derivados, así como de las funciones y propiedades beneficiosas de estos para la salud humana que hacen que pueda ser considerado como un alimento funcional.

Para el desarrollo de este objetivo general se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar la composición y propiedades de los compuestos bioactivos del tomate.
- Estudiar las aplicaciones que el tomate y derivados tienen en diferentes industrias.
- Estudiar las técnicas de extracción utilizadas habitualmente para la determinación de compuestos bioactivos en el tomate.
- Estudiar los métodos de determinación de la actividad antioxidante de extractos obtenidos del tomate.

4. TÉCNICAS UTILIZADAS PARA LA EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL TOMATE

La preparación de la muestra antes de la extracción es simple, los tomates se lavan con agua corriente y luego con agua destilada, y se evapora la humedad residual a temperatura ambiente. Tras esto, se cortan, liofilizan y muelen hasta obtener un polvo homogéneo. (Georgé et al., 2011; Guil-Guerrero & Reboloso-Fuentes, 2009). Una vez conseguida la muestra de tomate de esta forma, según si el objetivo es la extracción de carotenoides o de compuestos fenólicos los disolventes empleados serán diferentes. Los carotenoides son compuestos lipofílicos, por lo que son insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos como hexano, acetona, etanol, acetato de

etilo, cloroformo y éter de petróleo, así como mezclas de disolventes polares y no polares en diferentes proporciones (*Strati et al, 2011*). Para la extracción de polifenoles se emplean disolventes orgánicos en disolución acuosa. En el caso del tomate se suelen emplear mezclas de metanol-agua o etanol-agua en proporciones variables. Para ayudar a la extracción, algunos autores añaden cantidades pequeñas de ácido o hexano (*Tranfić Bakić et al., 2019*).

A continuación, se exponen las técnicas más frecuentemente empleadas para la extracción de compuestos bioactivos en tomate, agrupadas en técnicas convencionales y no convencionales. Dentro de estas últimas son de especial interés aquellas que por sus características son respetuosas con el medio ambiente.

4.1. Técnicas convencionales

La técnica de extracción convencional más empleada es la extracción Soxhlet, que consiste en una extracción semicontinua con un disolvente orgánico. En esta técnica, una pequeña cantidad de muestra seca se coloca en un dedal que se llena gradualmente con el extractante fresco condensado en un matraz de destilación. Cuando el líquido alcanza el nivel de desbordamiento, un sifón lo aspira del dedal y lo vuelve a descargar en el matraz de destilación, transportando así los analitos extraídos al líquido. La operación se repite hasta lograr la extracción completa (*López-Bascón & Luque de Castro, 2020*).

Esta técnica posee desventajas tales como que es un proceso extremadamente lento, se requiere gran cantidad de disolvente, no se puede aplicar a analitos termolábiles y necesita una etapa final de evaporación (*Soquetta et al., 2018*). Como ventajas, se emplea instrumentación simple, no se requiere de filtración posterior, se obtienen grandes recuperaciones, el disolvente al estar caliente favorece la solubilidad del analito y además al estar en contacto de forma repetida con la muestra se mejora la extracción.

4.2. Técnicas no convencionales

- **Extracción con fluidos supercríticos**

En esta técnica la extracción de los componentes desde la matriz se lleva a cabo con un fluido supercrítico (*Sapkale et al., 2010*). Un fluido supercrítico es un compuesto

que se encuentre en condiciones de presión y temperatura superiores a su punto crítico, en el cual las densidades del líquido y del vapor son iguales. Los fluidos supercríticos tienen densidades similares a los líquidos pero poseen coeficientes de difusión más altos y viscosidades más bajas, similares a los gases, lo que hace que la extracción sea más rápida y selectiva que con un solvente orgánico líquido. Una de las principales características de un fluido supercrítico es la posibilidad de modificar su densidad ajustando la temperatura y/o la presión. La extracción con fluidos supercríticos es una técnica de extracción adecuada para la recuperación de compuestos fenólicos no polares. Debido a su baja polaridad y alta difusividad, el solvente que se elige en la mayoría de las extracciones es el dióxido de carbono por ser adecuado para analitos no polares (*Lama-Muñoz & Contreras, 2022*).

En esta técnica se suele usar el CO₂ como extractante ya que no es tóxico, ni inflamable, y es económico y fácilmente disponible. En el caso de la extracción de licopeno del tomate, este solvente ofrece rendimientos mayores al añadir un codisolvente, ya que de esta forma se mejora la solubilización en general de los carotenoides. Un buen ejemplo de codisolvente es el etanol por su bajo precio y toxicidad, permitiendo una recuperación media de carotenoides mayor del 90% y de aproximadamente el 95% en el caso concreto del licopeno. Además, el extracto obtenido posee una mayor actividad antioxidante ya que el etanol aumenta la polaridad del CO₂ y esto conduce a la extracción simultánea de carotenoides y compuestos fenólicos antioxidantes (*De Andrade Lima et al., 2019*). Una desventaja que plantea el uso de etanol como codisolvente es que la extracción se ve obstaculizada por la disminución de homogeneidad de la mezcla de extracción por la diferencia de polaridad ya que el etanol es polar y los carotenoides no (*Saldaña et al., 2010*).

- Extracción asistida por ultrasonidos

Es una técnica de fácil aplicación, con tiempos de extracción reducidos, y que ofrece altos rendimientos y selectividad. Se basa en el fenómeno de cavitación, en el cual se producen, crecen y colapsan burbujas de vapor o gas generadas por la acción de una frecuencia determinada. Esto genera una ruptura de la pared celular incrementando la permeabilidad del tejido de las plantas y facilitando la entrada del solvente al material para la extracción. Los parámetros más influyentes en la aplicación de la

extracción asistida por ultrasonido son el tiempo, la temperatura, la amplitud y la potencia de sonicación.

En este tipo de extracción se usan habitualmente mezclas eutécticas hidrofóbicas de disolventes. En el caso de la extracción de licopeno del tomate, se utiliza frecuentemente la combinación de DL-mentol con ácido láctico ya que posee una viscosidad más baja que otras mezclas eutécticas (*Ribeiro et al., 2015*); otra ventaja de esta mezcla es que posee gran capacidad de extracción comparada con el uso de disolventes orgánicos. A modo de ejemplo cabe citar el trabajo de Silva et al., en el que utilizando esta mezcla consiguieron extraer 1446,6 mg/kg de licopeno, comparados con los 1334,8 mg/kg que se extraían con el empleo de lactato de etilo y acetato de etilo (*Silva et al., 2019*).

- Extracción Asistida por Microondas (MAE)

La extracción asistida por microondas es un proceso en el que se usa energía de microondas para calentar solventes en contacto con una muestra y así extraer los analitos de la matriz de la muestra. La extracción se puede realizar a temperaturas elevadas para acelerar la transferencia de los componentes bioactivos de la matriz de la muestra. El procedimiento de extracción lleva alrededor de 15 a 30 min y se utilizan pequeños volúmenes de solvente (10 - 30 mL), lo que reduce en unas 10 veces los volúmenes empleados en técnicas convencionales (*Sparr Eskilsson & Björklund, 2000*). Los factores que afectan a la extracción asistida por microondas son la naturaleza y volumen del disolvente, la potencia de microondas, el tiempo de irradiación, el tiempo de extracción, las características de la matriz y la temperatura (*Mandal & Hemalatha, 2007*). Como inconvenientes generales de esta técnica cabe citar la degradación de compuestos térmicamente lábiles y, en ocasiones, la poca selectividad de la extracción.

Esta técnica se ha empleado para la extracción de compuestos fenólicos en el tomate debido a la reducción del tiempo de extracción y volumen de solvente, así como a la consecución de una mejor eficiencia de extracción (*Li et al., 2011*). También se ha empleado la combinación de esta técnica con la asistida por ultrasonidos para la extracción de licopeno en tomate (*Lianfu & Zelong, 2008*).

- Extracción asistida por campo eléctrico pulsado (PEF)

El principio en el que se basa la extracción por esta técnica es inducir la electroporación de la membrana celular de los tejidos vegetales, que consiste en un incremento de su permeabilidad. Para ello, se aplica de forma intermitente una diferencia de potencial con una duración del orden de 1 μ s al producto colocado entre dos electrodos. Un potencial eléctrico atraviesa entonces la membrana celular y separa las moléculas según su carga. Esta repulsión forma poros, aumentando así su permeabilidad, lo que favorece la extracción de compuestos intracelulares y acorta el tiempo de extracción (*Azmir et al., 2013*). La eficacia de esta técnica PEF depende estrictamente de los parámetros del proceso, incluida la intensidad del campo, la entrada de energía específica, el número de pulsos, la temperatura de tratamiento y las propiedades de las matrices a tratar (*Heinz et al., 2003*).

En el caso del tomate, el empleo de la técnica PEF ofrece rendimientos menores que la extracción con fluidos supercríticos. Sin embargo, es utilizada frecuentemente para la extracción de licopeno, utilizando acetona o lactato de etilo como solventes, ya que no se produce isomerización ni degradación de este compuesto. La acetona permite un mayor rendimiento de extracción del licopeno que el lactato de etilo debido a su mayor capacidad de penetración en las células vegetales y de solubilización de una mayor cantidad de compuestos lipofílicos (*Patara et al., 2020*).

Aunque esta técnica se emplea generalmente para la extracción de compuestos hidrosolubles, se ha utilizado también para la extracción de carotenoides de la piel del tomate, ya que la electroporación de las membranas citoplasmáticas también incrementa la extracción de compuestos liposolubles (*Luengo et al., 2014*).

En algunas de las técnicas expuestas anteriormente se han utilizado recientemente un tipo de solventes que presentan características tales que permiten la extracción simultánea de compuestos polares y no polares y, además, son muy sostenibles al proceder de fuentes naturales. Son los denominados *Disolventes Eutécticos Profundos Naturales (NADES)*, que se tratarán a continuación.

Extracción con NADES

Los biorresiduos constituyen un problema en la actualidad ya que ocasionan numerosos perjuicios al medio ambiente. Desde hace años estos subproductos se han utilizado para preparar compost para el suelo con fines agrícolas; sin embargo, en la

actualidad son tantos los desechos acumulados que se requiere cada vez más de estudios para su aprovechamiento y/o reducción al máximo. En el caso particular del tomate, ya se ha visto anteriormente que muchos de sus subproductos contienen compuestos bioactivos, como los carotenoides, que tienen muchas aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica (*Trombino et al., 2021*).

La tendencia actual, en el caso del aprovechamiento de biorresiduos y en general en los métodos de extracción, es el uso de solventes verdes, sostenibles y eficientes que sean seguros para el consumo humano. Entre estos solventes verdes se incluye el lactato de etilo (Kua et al., 2016), que ha demostrado ser muy eficaz para extraer carotenoides del tomate. Su eficiencia para la extracción de licopeno se comparó con la de la acetona, acetato de etilo, hexano y etanol (Tabla 4.1) y resultó ser el que proporcionaba mejores rendimientos incluso a más bajas temperaturas (*Strati et al, 2011*).

Tabla 4.1: Rendimiento en la extracción de carotenoides de residuos de tomate seco.
Fuente: (*Strati et al, 2011*)

Solvent	Carotenoid yield, mg kg ⁻¹ dry tomato waste (% of the maximum obtained yield)		
	25 °C	50 °C	70 °C
Hexane	25.22 ± 0.70aB (10.4)	26.17 ± 0.90aB (10.8)	34.45 ± 1.65bB ^a (14.2)
Acetone	33.36 ± 0.33aC (13.7)	51.90 ± 0.22bD (21.4)	–
Ethanol	6.10 ± 0.28aA (2.5)	13.15 ± 0.91abA (5.4)	17.57 ± 0.67bA (7.2)
Ethyl acetate	31.46 ± 0.18aC (12.9)	41.27 ± 0.32bC (17.0)	46.21 ± 0.19bC (19.0)
Ethyl lactate	202.73 ± 3.32aD (83.4)	207.75 ± 3.11aE (85.5)	243.00 ± 3.45bD (100)

Entre estos disolventes verdes se incluyen los NADES, que están constituidos por metabolitos presentes de forma natural en todo tipo de células y organismos (*Choi et al., 2011*). Ejemplos de constituyentes son azúcares, ácidos orgánicos como el ácido láctico, ácido málico, ácido cítrico entre otros, urea y cloruro de colina (*Fernández et al., 2018*). Los NADES tienen ventajas tales como baja toxicidad, biodegradabilidad, estabilización de solutos, sostenibilidad y bajo costo. Además, estos disolventes tienen propiedades ajustables como la viscosidad, tensión superficial y polaridad, lo que los hace mejores ofreciendo distintos enfoques de extracción.

Tres NADES diferentes, LGH, CGH y FCH, fueron evaluados para la extracción de compuestos fenólicos del tomate (*Fernández et al., 2018*). Su síntesis fue realizada a partir de los siguientes compuestos:

- LGH: ácido láctico y glucosa en proporciones 5:1
- CGH: ácido cítrico y glucosa en proporción 1:1
- FCH: fructosa y ácido cítrico en proporción 1:1

Se concluyó que de los tres el LGH es el más estable y el único que se podía generar a bajas temperaturas (40°C). Además, resultó tener una excelente capacidad de extracción para compuestos polares y polares débiles en comparación con los solventes convencionales.

5. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL TOMATE

Para la evaluación de la actividad antioxidante de una muestra es necesario llevar a cabo diferentes ensayos ya que los antioxidantes presentan diferentes formas de actuación. Frecuentemente es una tarea difícil comparar los resultados obtenidos por diferentes ensayos. Teniendo en cuenta las reacciones químicas implicadas, la mayoría de los ensayos utilizados para la determinación de la capacidad antioxidante pueden ser divididos en dos categorías, que se exponen a continuación.

5.1. Ensayos basados en la transferencia de átomos de hidrógeno (HAT)

En estos ensayos se mide la capacidad que tiene un antioxidante para eliminar radicales libres por donación de un átomo de hidrógeno (Figura 5.1).

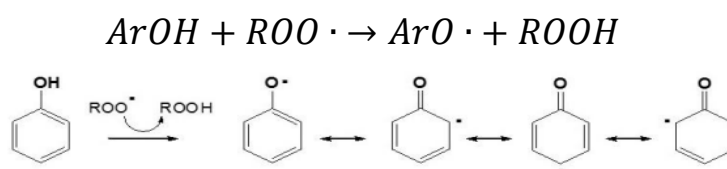


Figura 5.1: Estabilización por resonancia de un radical antioxidante. Fuente: (Torres-Osorio et al., 2019)

Entre estos ensayos, el más utilizado para la determinación de la capacidad antioxidante del tomate es el ensayo ORAC.

5.1.1. Ensayo ORAC

En este ensayo se mide la capacidad que tienen los antioxidantes presentes en una muestra (AH) de donar átomos de hidrógeno a los radicales peróxido. Este ensayo se

fundamenta en la termodescomposición de un azoderivado, el AAPH [2,2'-Azobis-(2-Aminopropano)-Dihidrocloruro] (Figura 5.2) para un radical alquilo que reacciona con el oxígeno molecular para dar un radical peroxilo; este reacciona luego con una sonda fluorescente (fluoresceína) conduciendo a una pérdida de su fluorescencia (Figura 5.3). Los antioxidantes son pues los encargados de proteger la sonda fluorescente de la oxidación (Figura 5.3), midiéndose el grado de protección (Munteanu & Apetrei, 2021).

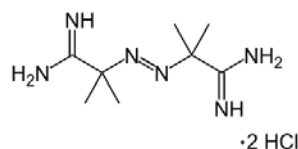


Figura 5.2: Radical AAPH

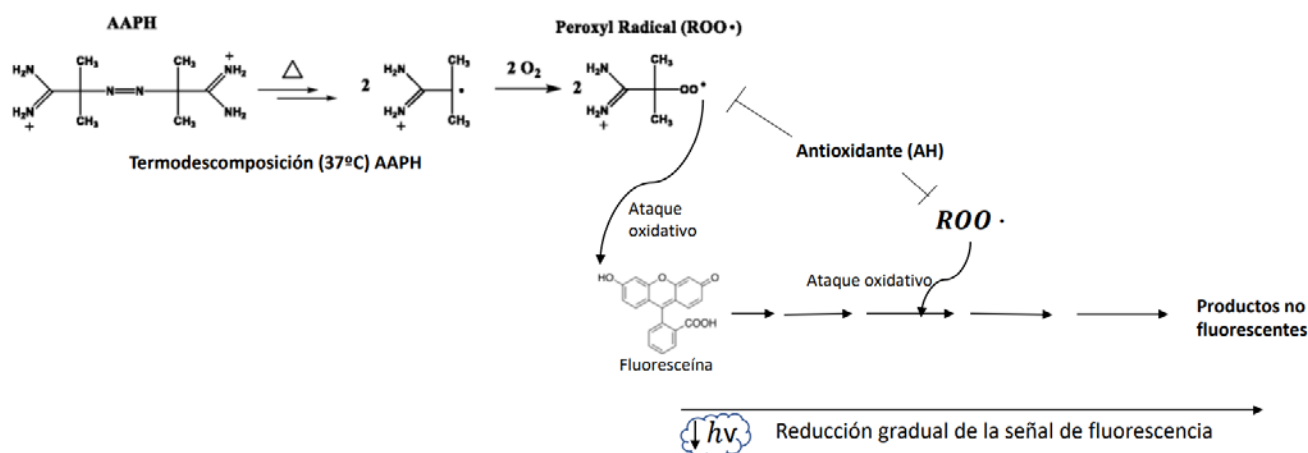


Figura 5.3: Esquema de reacción ensayo ORAC (Elaboración propia)

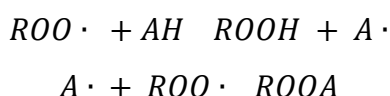


Figura 5.4: Mecanismo de reacción del ensayo ORAC

El “apagamiento” de los radicales peroxilo por parte de los antioxidantes presentes en la muestra analizada se evidencia mediante la inhibición de la oxidación de la sonda fluorescente. La actividad ORAC se obtiene comparando la capacidad que tiene una determinada cantidad de muestra de apagar radicales libres con la capacidad que tiene una cantidad conocida del antioxidante estándar Trolox. Para ello, se construye una curva estándar con diferentes concentraciones de Trolox y la actividad ORAC se

expresa como micromoles de “equivalentes Trolox” (TE) presentes en una cantidad determinada de muestra.

En la tabla 5.1 se recogen valores de la actividad antioxidante del tomate de diferentes tonalidades determinadas mediante el ensayo ORAC apreciando que no existe gran diferencia entre ellos, mientras que en la tabla 5.2 se muestra una tabla en la que se comparan por el mismo ensayo la actividad antioxidante del tomate crudo y cocinado en sus dos fracciones (*Wu et al., 2004*). Esta tabla aporta más información que la anterior ya que vemos como la parte hidrofílica tiene más peso en la actividad antioxidante y entre el tomate fresco y cocinado tiene mayor valor el cocinado.

Tabla 5.1: Valores de actividad antioxidante del tomate obtenidos por el ensayo ORAC (Elaboración propia)

<i>Ensayo</i>					<i>Referencia</i>
	Tomate amarillo	Tomate naranja	Tomate rojo	Tomate marrón	
ORAC	10,47-11 μmol TE/g	12-13,76 μmol TE/g	11-13,76 μmol TE/g	12-12,5 μmol TE/g	(<i>Li et al., 2011</i>)

TE: equivalentes Trolox

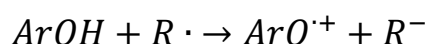
Tabla 5.2: Valores de actividad antioxidante del tomate fresco y cocinado obtenidos por el ensayo ORAC. Fuente: (*Wu et al., 2004*).

TIPO DE TOMATE	FRACCIÓN LIPOFÍLICA (μmol TE/g)	FRACCIÓN HIDROFÍLICA (μmol TE/g)
Tomate fresco	0,24	3,13
Tomate cocinado	0,34	4,26

TE: equivalentes Trolox

5.2. Ensayos basados en la transferencia de electrones (SET)

El fundamento de estos ensayos es reducir los iones metálicos, grupos carbonilo y radicales libres por la transferencia de un electrón de un antioxidante.



Entre los ensayos de este tipo utilizados en la evaluación de la actividad antioxidante del tomate se encuentran CUPRAC, FRAP y Folin-Ciocalteu.

5.2.1. Ensayo CUPRAC

Este ensayo se basa en la reducción del ion cúprico (Cu^{2+}) del reactivo CUPRAC a cuproso (Cu^+) (Figura 5.5). El CUPRAC, formado por complejación del ion cúprico con la neocuproína reacciona con los antioxidantes de la muestra dando lugar a un complejo reducido de color amarillo-naranja intenso, con un máximo de absorción a 450 nm (Munteanu & Apetrei, 2021).

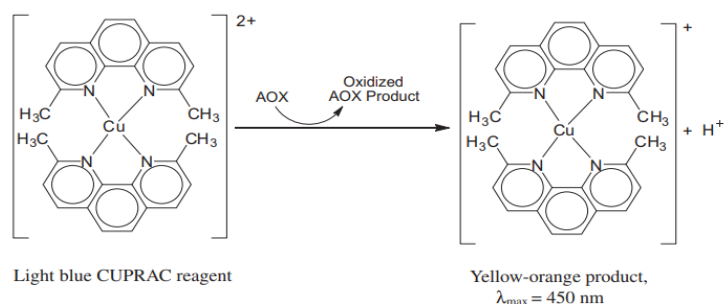


Figura 5.5: Fundamento del ensayo CUPRAC. Fuente: (Özyürek et al., 2011)

La intensidad del color desarrollado será directamente proporcional a la actividad antioxidante de la muestra.

En la tabla 5.3 se recogen valores de la actividad antioxidante de la fracción hidrofílica y lipofílica del tomate determinadas mediante el ensayo CUPRAC. En esta tabla observamos como destaca la tonalidad amarilla en cuanto a la actividad antioxidante en la fracción hidrofílica que es la mayor cualquier caso, mientras que para la fracción lipofílica tiene mayor valor el tomate rojo.

Tabla 5.3: Valores de actividad antioxidante del tomate obtenidos por el ensayo CUPRAC. Fuente: (Vela-Hinojosa et al., 2019)

TIPO DE TOMATE	FRACCIÓN LIPOFÍLICA ($\mu\text{mol TE/g}$)	FRACCIÓN HIDROFÍLICA ($\mu\text{mol TE/g}$)
Tomate rojo	5,20	8,61
Tomate naranja	4,42	8,88
Tomate amarillo	3,51	12,9
Tomate morado	3,78	5,61
Tomate marrón híbrido	4,56	6,44

TE: equivalentes Trolox

5.2.2. Prueba FRAP

Prueba por la que se puede determinar la actividad antioxidante por el cambio de absorbancia a 593 nm, esto es debido a la reducción del ion férrico del complejo (Fe^{3+})-ligando al ion ferroso del complejo (Fe^{2+})-ligando por medio de antioxidantes en medio ácido ($\text{pH}=3,6$) dando lugar al azul de Prusia (Figura 5.6). Es necesario pH ácido para mantener la solubilidad del hierro en todo momento (Munteanu & Apetrei, 2021).

En resumen, esta prueba no implica generación o eliminación de radicales, sino que utiliza una reacción red-ox en condiciones fijas, en la que una molécula cambia de color cuando se reduce por la acción de los antioxidantes de la muestra que son electrón- donantes (Benzie & Devaki, 2017).

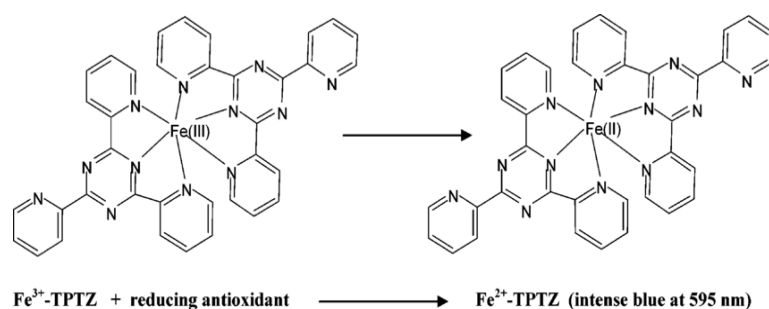


Figura 5.6: Reducción del ion férrico del complejo por acción de antioxidantes.
Fuente: (Prior et al., 2005)

En la tabla 5.4 se recogen valores de la actividad antioxidante de la fracción hidrofílica y lipofílica del tomate determinadas mediante la prueba FRAP. Se observa como destaca la tonalidad verde en cuanto a la actividad antioxidante en la fracción hidrofílica que es la mayor cualquier caso, mientras que para la fracción lipofílica tiene mayor actividad el tomate rojo.

Tabla 5.4: Valores de actividad antioxidante del tomate obtenidos por la prueba FRAP.
Fuente: (Ilahy et al., 2011)

TIPO DE TOMATE	FRACCIÓN LIPOFÍLICA (mM FRAP/g)	FRACCIÓN HIDROFÍLICA (mM FRAP/g)
Tomate rojo	1,33 – 2,72	1,17 – 3,65
Tomate naranja	1,01 – 2,07	1,57 – 4,16
Tomate verde	0,55 – 1,62	2,29 – 4,49

5.2.3. Método de Folin-Ciocalteu

Corresponde con un método útil para la determinación del contenido fenólico total basado en la reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu con compuestos fenólicos en estado alcalino para producir un cromóforo de color azul con un máximo de absorción a 765nm. El reactivo contiene una mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico. Estas dos sales en medio ácido dan lugar al ácido fosfomolibdotúngstico de color amarillo, que al ser reducido por los grupos fenólicos da lugar al complejo de color azul intenso mencionado anteriormente (Figura 5.7). El patrón más usado es el ácido gálico y por tanto los resultados generalmente se expresan como equivalentes de ácido gálico (*Shahidi & Zhong, 2015*).

Un ejemplo del uso de este método se encuentra en la tabla 5.5, en la que se muestra el contenido fenólico total (TPC) de distintos tipos de tomate, siendo el tomate morado el que tiene mayor valor con diferencia.

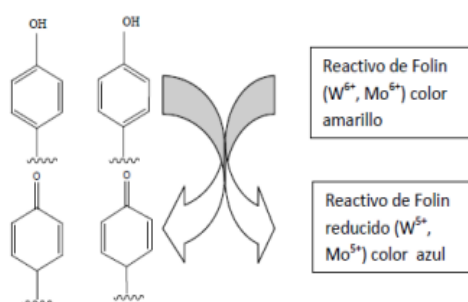


Figura 5.7: Reducción del reactivo de Folin.
Fuente: (*Munteanu et al., 2021*)

Tabla 5.5: Contenido fenólico total de distintos tipos de tomates
(Elaboración propia)

TIPO DE TOMATE	TPC (mg/kg)	REFERENCIA
Tomate morado	6591,1	(<i>Li et al., 2011</i>)
Tomate verde	186,92 – 334,03	(<i>García-Valverde et al., 2013</i>)
Tomate rosa	213,44 – 511,30	(<i>García-Valverde et al., 2013</i>)
Tomate rojo	239,37 – 558,62	(<i>García-Valverde et al., 2013</i>)
	259,16 – 498,60	(<i>Periago et al., 2002</i>)
	156,7	(<i>Liu et al., 2012</i>)
	66,71 – 175,42	(<i>Asensio et al., 2019</i>)

TPC: contenido fenólico total

5.3. Pruebas de modo mixto (HAT/SET)

Estas pruebas se basan generalmente en la eliminación de un cromóforo estable, donde los mecanismos HAT y SET pueden desempeñar diversas funciones según las condiciones. En este apartado se incluyen los ensayos ABTS y DPPH.

5.3.1. Prueba ABTS

El 2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS) en presencia de agentes oxidantes da lugar al catión $\text{ABTS}^{\bullet+}$ (Figura 5.8), catión principal en esta prueba que se basa en la capacidad de los antioxidantes para neutralizar este radical. El radical es de color azul-verde y tiene su absorción máxima a 734 nm. Este reactivo se puede usar en un amplio rango de pH por tanto se puede usar para evaluar los mecanismos de antioxidantes en alimentos y además, se puede determinar capacidad antioxidante en compuestos lipofílicos (carotenoides, tocoferoles, etc.) como en compuestos hidrófilos por ser soluble tanto en agua como disolventes orgánicos (Munteanu & Apetrei, 2021).

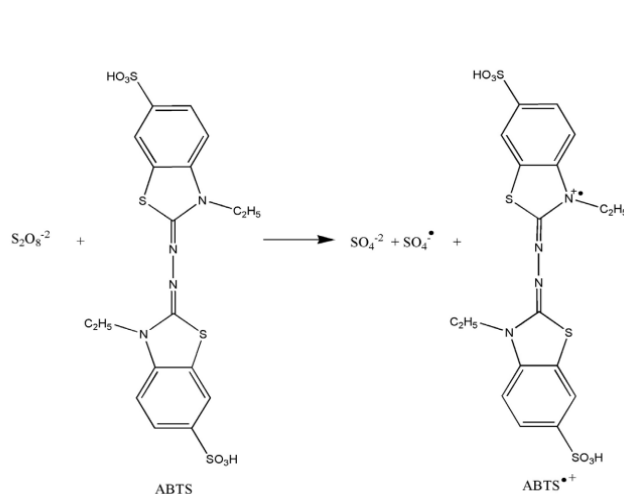


Figura 5.8: Esquema de reacción de la prueba ABTS.
Fuente: (Güder, 2016)

La curva de calibración se construye con el estándar Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico) y los resultados se dan generalmente en micromoles de equivalentes Trolox (TE o TEAC) por cantidad de muestra. En la tabla 5.6 se recogen valores de la actividad antioxidante de las distintas fracciones que componen al tomate determinadas mediante la prueba ABTS, mientras que en la tabla 5.7, se muestran estos resultados en tomates enteros diferenciando la fracción hidrofílica y lipofílica. En la primera tabla vemos como la piel es la que mayor actividad antioxidante

tiene y en la segunda tabla como la fracción hidrofílica tiene más peso, siendo el tomate amarillo el que más actividad antioxidante posee en la fracción hidrofílica y el tomate rojo en la fracción lipofílica.

Tabla 5.6: Evaluación de la actividad antioxidante de distintas partes del tomate mediante la prueba ABTS (Elaboración propia)

<i>Prueba</i>					<i>Referencia</i>
	Piel ($\mu\text{mol TE/kg}$)	Semillas ($\mu\text{mol TE/kg}$)	Pulpa ($\mu\text{mol TE/kg}$)	Total ($\mu\text{mol TE/kg}$)	
<i>ABTS</i>	21445	11494	8250	4433	(Toor & Savage, 2005)
	6814,9	3424	1363,2	2064,3	(Tamasi et al., 2019)

TE: equivalentes Trolox

Tabla 5.7: Evaluación de la actividad antioxidante de distintos tipos de tomate mediante la prueba ABTS. Fuente: (Vela-Hinojosa et al., 2019)

TIPO DE TOMATE	FRACCIÓN LIPOFÍLICA ($\mu\text{mol TE/g}$)	FRACCIÓN HIDROFÍLICA ($\mu\text{mol TE/g}$)
Tomate rojo	2,05	7,48
Tomate naranja	0,85	8,02
Tomate amarillo	0,50	11,08
Tomate morado	0,51	3,72
Tomate marrón híbrido	1,76	7,55

TE: equivalentes Trolox

5.3.2. Prueba DPPH

Al mezclar una disolución del radical DPPH con una sustancia que pueda donar un átomo de hidrógeno como los antioxidantes (Figura 5.9), se produce un desvanecimiento de la absorción que se ve reflejado en la disolución ya que se produce una pérdida de color, esto se aprecia visualmente ya que el radical DPPH tiene un color violeta intenso con absorción a 517nm y cuando este radical capta un protón y adquiere un color amarillo muy claro. Es una técnica muy simple que únicamente requiere de un espectrofotómetro UV-Vis (Kedare & Singh, 2011). Al igual que en el ensayo ABTS, la curva de calibración se construye con el estándar Trolox y

los resultados se dan en micromoles de equivalentes Trolox (TE o TEAC) por cantidad de muestra.

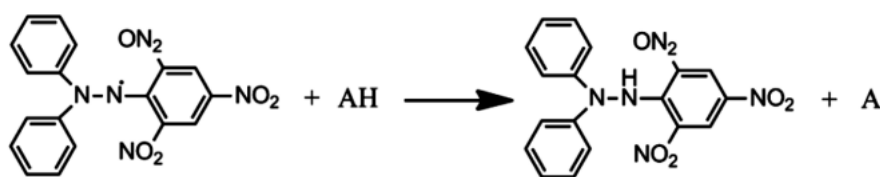


Figura 5.9: Esquema de reacción de la prueba DPPH.
Fuente: (Sirivibulkovit et al., 2018)

En la tabla 5.8 se recogen valores de la actividad antioxidante de las distintas fracciones que componen al tomate determinadas mediante la prueba DPPH, mientras que en la tabla 5.9, se muestran estos resultados pero en tomates enteros diferenciando la fracción hidrofílica y lipofílica. En las tablas se puede apreciar lo mismo que en la prueba ABTS con la única diferencia de que los valores son bastante más bajos por el empleo de diferentes cationes.

Tabla 5.8: Evaluación de la actividad antioxidante de las distintas partes del tomate mediante la prueba DPPH. Fuente: (Tamasi et al., 2019)

Prueba

	Piel ($\mu\text{mol TEAC/kg}$)	Semillas ($\mu\text{mol TEAC/kg}$)	Pulpa ($\mu\text{mol TEAC/kg}$)	Total ($\mu\text{mol TEAC/kg}$)
DPPH	4691,2	2645,6	1328	1494,7

TEAC: equivalentes Trolox

Tabla 5.9: Evaluación de la actividad antioxidante de distintos tipos de tomate mediante la prueba DPPH. Fuente: (Vela-Hinojosa et al., 2019)

TIPO DE TOMATE	FRACCIÓN LIPOFÍLICA ($\mu\text{mol TE/g}$)	FRACCIÓN HIDROFÍLICA ($\mu\text{mol TE/g}$)
Tomate rojo	0,012	0,041
Tomate naranja	0,011	0,046
Tomate amarillo	0,008	0,054
Tomate morado	0,009	0,028
Tomate marrón híbrido	0,010	0,040

TE: equivalentes Trolox

En las tablas 5.10, 5.11, 5.12 y 5.13 se muestran valores de actividad antioxidante del tomate, medidos por diferentes pruebas, para diferentes grados de procesamiento (Kamiloglu et al., 2014). Se observa que, como ya se comentó anteriormente, los valores de la actividad antioxidante obtenidos para las mismas muestras, pero con diferentes ensayos, difieren significativamente, ya que se evalúan diferentes formas de actuación de los antioxidantes. Cada prueba tiene sus propias ventajas y limitaciones. A pesar de esto, todos los ensayos muestran como la actividad antioxidante medida en la materia seca, es decir, cuando al tomate se le ha eliminado toda el agua, es mayor que en el caso del tomate fresco. Por otro lado, en todos los métodos excepto en la prueba FRAP se observa que el tomate procesado en forma de pasta o seco tienen mayores valores de actividad antioxidante.

Tabla 5.10: Estudio de la actividad antioxidante del tomate, con varios grados de procesamiento, mediante el ensayo CUPRAC. Fuente: (Kamiloglu et al., 2014)

<i>Forma en la que se encuentra el tomate</i>	<i>Peso fresco (mg Trolox/100g)</i>	<i>Peso seco (mg Trolox/100g)</i>
<i>Sin procesar</i>	21	416
<i>Pasta</i>	128	347
<i>Puré</i>	39	302
<i>Zumo</i>	23	323
<i>Seco</i>	142	222
<i>Troceado</i>	10	202
<i>Troceado y cocinado</i>	17	239

Tabla 5.11: Estudio de la actividad antioxidante del tomate, con varios grados de procesamiento, mediante la prueba FRAP. Fuente: (Kamiloglu et al., 2014)

<i>Forma en la que se encuentra el tomate</i>	<i>Peso fresco (mg Trolox/100g)</i>	<i>Peso seco (mg Trolox/100g)</i>
<i>Fresco</i>	19,9	397
<i>Pasta</i>	18	50
<i>Puré</i>	18	142
<i>Zumo</i>	13	185
<i>Seco</i>	12	19
<i>Troceado</i>	14	289
<i>Troceado y cocinado</i>	14,4	205

Tabla 5.12: Estudio de la actividad antioxidante del tomate, con varios grados de procesamiento, mediante la prueba ABTS. Fuente: (Kamiloglu et al., 2014)

<i>Forma en la que se encuentra el tomate</i>	<i>Peso fresco (mg Trolox/100g)</i>	<i>Peso seco (mg Trolox/100g)</i>
<i>Fresco</i>	22	432
<i>Pasta</i>	28,3	77
<i>Puré</i>	26	201
<i>Zumo</i>	19,6	280
<i>Seco</i>	29,3	46
<i>Troceado</i>	16,4	329
<i>Troceado y cocinado</i>	19,2	274

Tabla 5.13: Estudio de la actividad antioxidante del tomate, con varios grados de procesamiento, mediante la prueba DPPH. Fuente: (Kamiloglu et al., 2014)

<i>Forma en la que se encuentra el tomate</i>	<i>Peso fresco (mg Trolox/100g)</i>	<i>Peso seco (mg Trolox/100g)</i>
<i>Fresco</i>	19	376
<i>Pasta</i>	55	149
<i>Puré</i>	24	188
<i>Zumo</i>	16	223
<i>Seco</i>	45	70
<i>Troceado</i>	14	282
<i>Troceado y cocinado</i>	17	245

6. DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL TOMATE

Como ya se expuso anteriormente, los principales compuestos bioactivos del tomate incluyen compuestos fenólicos, carotenoides y vitaminas. En consecuencia, pueden distinguirse dos diferentes fracciones extraídas del tomate, la fracción hidrofílica y la fracción lipofílica. La vitamina C y los compuestos fenólicos más polares son los que integran principalmente la fracción hidrofílica, mientras que la lipofílica incluye fundamentalmente los carotenoides, la vitamina E y compuestos fenólicos lipofílicos. De ambas fracciones, la hidrofílica es la que más contribuye a la actividad antioxidante (Kotíková et al., 2011).

El contenido en estos componentes bioactivos depende en gran medida de la parte del tomate analizada (piel, pulpa, semillas). Como se muestra en la tabla 6.1, la piel es la que tiene un mayor contenido en compuestos fenólicos y, en concreto, en flavonoides, así como en licopeno y ácido ascórbico. Por tanto, la eliminación de la piel del tomate da como resultado una pérdida significativa de antioxidantes, hasta de un 40-53% (Toor & Savage, 2005).

Tabla 6.1: Contenido en compuestos fenólicos, flavonoides, licopeno y ácido ascórbico de distintas fracciones del tomate (Elaboración propia)

Fracción	Contenido total en compuestos fenólicos (mg/100 g)	Contenido total en flavonoides (mg/100 g)	Contenido en licopeno (mg/100 g)	Contenido en ácido ascórbico (mg/100 g)	Referencia
Piel	34,7	20,4	8,7	16,9	(Toor & Savage, 2005)
	27,92-44,18	-	10,66-22	25,52-35,30	(Chandra & Ramalingam, 2011)
	126,57	17,23	-	-	(Tamasi et al., 2019)
	24		21	21	(Bianchi et al., 2023)
Pulpa	15	8,2	2,8	8,9	(Toor & Savage, 2005)
	12,50-16,56	-	6,28-15,18	25-47,74	(Chandra & Ramalingam, 2011)
	32,32	0,27	-	-	(Tamasi et al., 2019)
	44		61	59	(Bianchi et al., 2023)
Semillas	25,5	12,1	1,6	8,4	(Toor & Savage, 2005)
	5,62-20,94	-	1,54-3,88	9,92-16,40	(Chandra & Ramalingam, 2011)
	68,03	0,5	-	-	(Tamasi et al., 2019)
	32	-	18	20	(Bianchi et al., 2023)

(-) no analizado

La determinación de los compuestos fenólicos se lleva a cabo generalmente por Cromatografía de Líquidos acoplada a Espectrometría de Masas (LC-MS) previa extracción de la fracción con mezclas MeOH:H₂O o EtOH:H₂O de diferente composición (Slimestad & Verheul, 2009).

En cuanto a carotenoides, su extracción se lleva generalmente utilizando primero un solvente miscible con el agua y luego se re-extraen varias veces con solventes no polares. El análisis cuantitativo de los carotenoides y sus isómeros se lleva a cabo generalmente mediante Cromatografía de Líquidos (LC) con un detector diodo-array

(Dzakovich et al., 2019). En la tabla 6.4 se muestra el contenido en diferentes carotenoides del tomate.

En la tabla 6.2 se recogen los ácidos fenólicos, flavonoides y carotenoides que se encuentran en mayor cantidad en el tomate. En la mayoría de los artículos consultados el contenido en compuestos bioactivos del tomate se proporciona agrupado este en diferentes tonalidades (verde, rosa, rojo y morado) en lugar de en variedades. Esto se debe a que el contenido en carotenoides y en algunos compuestos fenólicos está más correlacionado con el color que con la variedad.

Tabla 6.2: Ácidos fenólicos , flavonoides y algunos carotenoides de distintos tipos de tomate. Fuente: (Li et al., 2011) (García-Valverde et al., 2013)

Tomate Pera	Ácido clorogénico	Ácido cafeico	Ácido ferúlico	Ácido p-cumárico	Rutina	Naringenina	Licopeno total	β-caroteno
Verde	51,14	ND	ND	-	16,06	1,55	0,39	0,87
Rosa	43,58	ND	0,79	-	19,87	0,41	40,95	2,39
Rojo	17,66	2,84	ND	-	9,64	ND	141,43	3,65
Tomate Cherry Pera	Ácido clorogénico	Ácido cafeico	Ácido ferúlico	Ácido p-cumárico	Rutina	Naringenina	Licopeno total	β-caroteno
Verde	30,69	ND	0,52	-	33,80	0,79	0,58	1,61
Rosa	99,65	ND	1,24	-	43,31	4,74	31,74	5,44
Rojo	29,29	ND	0,93	-	31,07	3,42	115,62	5,26
Tomate V118	Ácido clorogénico	Ácido cafeico	Ácido ferúlico	Ácido p-cumárico	Rutina	Naringenina	Licopeno total	β-caroteno
morado	655,6	136,5	145,1	156,8	523,9	128,2	185,01	47,11

Todos los valores tienen unidades de mg/kg

(-) no analizado

Como se observa, el ácido clorogénico y la rutina son los compuestos fenólicos más abundantes. El ácido clorogénico representa el 75% del total de los compuestos fenólicos en los tomates verdes y el 35% en los maduros. Su contenido disminuye con la maduración; por tanto, su contenido será mayor en aquellos tomates verdes o en maduración intermedia y será menor en tomates rojos. Por otro lado, es conocido que los compuestos fenólicos se acumulan principalmente en la superficie del tomate y, por tanto, los tomates más pequeños que tienen una mayor relación superficie/volumen son los que mayor concentración de estos compuestos poseen (Martí et al., 2017). La naringenina es una flavanona de color amarillo pálido y es por ello que su valor es reducido en los tomates que se muestran en la tabla.

Podemos ver como el contenido en licopeno y β-caroteno es similar en las variedades mostradas, es por ello que más adelante encontramos una tabla en la que

compararemos los carotenoides por tonalidades. Entre las tres variedades mostradas podemos comprobar como el tomate V118 es el que posee los valores más altos.

En el caso del tomate pera rojo se ha encontrado un valor de quercetina de 10,34 mg/kg y 2,16 mg/kg de kaempferol (*Periago et al., 2002*).

El tomate morado no es tan conocido y es el producto de modificaciones genéticas cuyo objetivo era conseguir un fruto con un alto contenido en antocianinas, compuestos fenólicos con muchas propiedades beneficiosas para la salud (*Li et al., 2011*). La cantidad de estos pigmentos se relaciona inversamente con el tamaño de la fruta ya que el fenotipo de las antocianinas se limita a la piel de tomate y por tanto a menor tamaño de la fruta, mayor relación piel/fruta. Debido a que la piel sólo representa aproximadamente el 5% del total del tomate, los niveles de antocianinas no superan habitualmente los 300 µg por gramo de peso fresco (*Butelli et al., 2008*). En la bibliografía, el contenido en antocianinas que presenta el tomate morado es muy variable, ya que hay algunas modificaciones genéticas sin mucho éxito y otras que tuvieron más éxito (Tabla 6.3).

Tabla 6.3: Concentración obtenida de antocianinas en variaciones genéticas del tomate según diferentes estudios (Elaboración propia)

CONCENTRACIÓN DE ANTOCIANINAS	REFERENCIA
2,83 mg/g	(<i>Butelli et al., 2008</i>)
90,91 mg/100g	(<i>Da Silva Souza et al., 2020</i>)
7,79-110,79 mg/100g	(<i>Mes et al., 2008</i>)
3-6 mg/g	(<i>Zhang et al., 2015</i>)
190-200 mg/100g	(<i>Yan et al., 2020</i>)
72,31 mg/100g	(<i>Li et al., 2011</i>)

En la tabla 6.4 podemos ver la cantidad de carotenoides que poseen los tomates pero por tonalidades en mayor profundidad ya que el color como se mencionó anteriormente aporta más información que la variedad en este caso.

Tabla 6.4: Contenido de los carotenoides más abundantes en distintos tipos de tomate
(Elaboración propia)

TIPO TOMATE	LUTEÍNA (mg/kg)	LICOPENO (mg/kg)	B-CAROTENO (mg/kg)	CAROTENOIDES TOTALES (mg/kg)	REFERENCIA
TOMATE ROJO	-	35,31-43,08	3,78-5,92	47,8-48,20	(Oluk et al., 2019)
	2,28-4,17	141,41-189,98	51,85-52,54	232,9-278,0	(Li et al., 2013)
TOMATE MARRÓN HÍBRIDO	-	8,45-10,45	1,66-5,40	12,87-15,46	(Oluk et al., 2019)
TOMATE MORADO	2,26-4,17	153,24-184,37	44,12-48,67	226,1-260,5	(Li et al., 2013)
	0,9	78-181	1-12	200	(Gonzali & Perata, 2020)
TOMATE AMARILLO	3,98	46,83-48,42	47,46-50,15	120,50-121,90	(Li et al., 2013)
	-	0,01-0,02	1,29-3,04	1,66-3,44	(Oluk et al., 2019)

(-) no analizado

Los carotenoides más abundantes son la luteína, licopeno y β -caroteno. Las concentraciones de estos carotenoides varían bastante, sin embargo, en el total de carotenoides se puede apreciar como el valor aumenta de esta forma: tomate amarillo < tomate marrón híbrido < tomate morado < tomate rojo. En cuanto al licopeno, que es un pigmento rojo brillante, predomina en tomate rojo y morado, siendo el tomate amarillo es que tiene una menor concentración. Finalmente, el mayor contenido en β -caroteno corresponde al tomate rojo. Podemos concluir pues que, de forma general, los tomates rojos y morados tienen un contenido más alto en licopeno, los tomates rojos un contenido más alto en β -caroteno y los tomates amarillos son los que tienen un contenido mayor de luteína (Li et al., 2013).

El contenido en compuestos bioactivos informado anteriormente se refiere al tomate fresco, pero este varía cuando se procesa (Tabla 6.5). Por una parte, se ha encontrado que todos los métodos de procesamiento mejoran la disponibilidad del licopeno al

destruir mecánicamente la matriz (Re et al., 2002). Además, puesto que el licopeno posee carácter lipofílico, al interaccionar con las grasas en la elaboración de salsas de tomate se produce un aumento de su concentración. Por otro lado, el tomate crudo posee principalmente el isómero *trans* del licopeno y en el procesamiento este pasa a ser isómero *cis*, el cual podría absorberse más fácilmente por ser más soluble en las micelas de los ácidos biliares, pudiéndose incorporar más fácilmente por difusión pasiva a las células de la mucosa intestinal (Soares et al., 2019).

Tabla 6.5: Influencia del grado de procesamiento del tomate en su contenido en compuestos bioactivos. Fuente:(Soares et al., 2019)

Compuesto	Tomate fresco (mg/100 g)	Pasta de tomate (mg/100 g)	Salsa de tomate (mg/100 g)
Ácido cafeico	23	29,3	38
Ácido <i>p</i> -cumárico	13,2	18,6	26,5
Quercetina	47	47,4	30,2
Rutina	30	31,1	19,1
Kaempferol-3-rutinósido	3,9	2,8	3,8
Naringenina	0,21	3,70	4,24
(E)- β -Caroteno	4,3	3,19	4,2
(E)-Licopeno	150	144	209
(Z)-Licopeno	15,2	8,67	23,8

En la Tabla 6.5 se aprecia que el contenido en ácido cafeico y *p*-cumárico aumenta con el procesamiento del tomate, siendo mayor en la pasta de tomate. Aparentemente, no se encontró que el procesamiento afectara al contenido en los flavonoles quercetina y rutina al preparar pasta de tomate; sin embargo, su contenido disminuía en salsa de tomate. En cuanto a las flavanonas, se observó un enorme aumento en el contenido en naringenina con el procesamiento.

En cuanto a los carotenoides, el (E)-licopeno parece relativamente estable con el procesamiento, a pesar de un aumento ligero de su concentración en la salsa. Por otra parte, el contenido en (Z)-licopeno disminuye a la mitad en la pasta de tomate, pero aumenta en la salsa de tomate. La disminución podría deberse a una retroisomerización parcial del (Z)-licopeno en (E)-licopeno, que es más termodinámicamente estable. Los datos encontrados en bibliografía respecto a la influencia del grado de procesamiento del tomate en su contenido en licopeno son

bastantes contradictorios. Mientras que algunos autores establecen que el contenido de (E)-Licopeno disminuye un 32% (*Capanoglu et al., 2008*) con el procesamiento, mientras que otros afirman que este valor aumenta en un 36% (*Abushita et al., 2000*) o 260% (*Re et al., 2002*).

En cuanto al contenido en β -caroteno, se observó una pérdida en el procesamiento de la pasta de tomate, pero su concentración se mantuvo en la salsa de tomate. Finalmente, el contenido en ácido ascórbico que muy importante en el tomate se verá negativamente afectado por el procesamiento de este ya que es una vitamina termolábil.

7. CONCLUSIONES

A partir de la revisión realizada en este Trabajo Fin de Grado acerca de la composición y actividad antioxidante del tomate, podemos obtener las siguientes conclusiones:

- Los principales componentes bioactivos del tomate son compuestos fenólicos, carotenoides y vitaminas. La fracción fenólica está compuesta principalmente por ácidos hidroxicinámicos y flavonoides. Entre los carotenoides predominan el licopeno y el β -caroteno y entre las vitaminas la vitamina C.
- El contenido en compuestos bioactivos del tomate y su actividad antioxidante, además de otras propiedades biológicas, hacen que presente multitud de aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética.
- La piel es la parte del tomate que tiene un mayor contenido en compuestos fenólicos y, en concreto, en flavonoides, así como en licopeno y ácido ascórbico.
- La variedad genética, forma de cultivo y almacenamiento del tomate hacen variar de forma significativa su capacidad antioxidante.
- En general, los tomates rojos y morados son los que tienen un contenido mayor en licopeno, los tomates rojos en β -caroteno y los tomates amarillos en luteína
- En general, el procesamiento del tomate para obtener tomate seco o pasta de tomate da lugar a un aumento en la actividad antioxidante.

- El procesamiento del tomate influye significativamente en el contenido en compuestos bioactivos.
- El procesamiento del tomate mejora la biodisponibilidad del licopeno.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abid, Y., Azabou, S., Jridi, M., Khemakhem, I., Bouaziz, M., & Attia, H. (2017). Storage stability of traditional Tunisian butter enriched with antioxidant extract from tomato processing by-products. *Food Chemistry*, 233, 476–482. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.125>
- Abushita, A. A., Daood, H. G., & Biacs, P. A. (2000). Change in Carotenoids and Antioxidant Vitamins in Tomato as a Function of Varietal and Technological Factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(6), 2075–2081. <https://doi.org/10.1021/jf990715p>
- Asensio, E., Sanvicente, I., Mallor, C., & Menal-Puey, S. (2019). Spanish traditional tomato. Effects of genotype, location and agronomic conditions on the nutritional quality and evaluation of consumer preferences. *Food Chemistry*, 270, 452–458. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.131>
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426–436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Bakry, A. (2021). Novel Processed Cheese Production Using Lycopene Oil Obtained By Green-Extraction Technique of Tomato Peels Waste. *Nutrition and Food Processing*, 4(2), 01–10. <https://doi.org/10.31579/2637-8914/035>
- Benzie, I. F. F., & Devaki, M. (2017). The ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay for non-enzymatic antioxidant capacity: concepts, procedures, limitations and applications. In *Measurement of Antioxidant Activity & Capacity* (pp. 77–106). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119135388.ch5>
- Bergougnoux, V. (2014). The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32(1), 170–189. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.11.003>

- Bianchi, A. R., Vitale, E., Guerretti, V., Palumbo, G., De Clemente, I. M., Vitale, L., Arena, C., & De Maio, A. (2023). Antioxidant Characterization of Six Tomato Cultivars and Derived Products Destined for Human Consumption. *Antioxidants*, 12(3), 761. <https://doi.org/10.3390/antiox12030761>
- Bigliardi, B., & Galati, F. (2013). Innovation trends in the food industry: The case of functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 31(2), 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.03.006>
- Butelli, E., Titta, L., Giorgio, M., Mock, H.-P., Matros, A., Peterek, S., Schijlen, E. G. W. M., Hall, R. D., Bovy, A. G., Luo, J., & Martin, C. (2008). Enrichment of tomato fruit with health-promoting anthocyanins by expression of select transcription factors. *Nature Biotechnology*, 26(11), 1301–1308. <https://doi.org/10.1038/nbt.1506>
- Calvo, M. (2015). Productos cárnicos. Influencia de la adición de productos y subproductos del tomate en sus propiedades fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales. *Eurocarne*, 239, 95–110.
- Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., Hall, R., & de Vos, R. (2008). Changes in Antioxidant and Metabolite Profiles during Production of Tomato Paste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3), 964–973. <https://doi.org/10.1021/jf072990e>
- Chandra, H. M., & Ramalingam, S. (2011). Antioxidant potentials of skin, pulp, and seed fractions of commercially important tomato cultivars. *Food Science and Biotechnology*, 20(1), 15–21. <https://doi.org/10.1007/s10068-011-0003-z>
- Choi, Y. H., van Spronsen, J., Dai, Y., Verberne, M., Hollmann, F., Arends, I. W. C. E., Witkamp, G.-J., & Verpoorte, R. (2011). Are Natural Deep Eutectic Solvents the Missing Link in Understanding Cellular Metabolism and Physiology? *Plant Physiology*, 156(4), 1701–1705. <https://doi.org/10.1104/pp.111.178426>
- Concha-Meyer, A., Palomo, I., Plaza, A., Tarone, A. G., Maróstica Junior, M. R., Sáyago-Ayerdi, S. G., & Fuentes, E. (2020). Platelet Anti-Aggregant Activity and Bioactive Compounds of Ultrasound-Assisted Extracts from Whole and Seedless Tomato Pomace. *Foods*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/foods9111564>
- Das, A. K., Nanda, P. K., Madane, P., Biswas, S., Das, A., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2020). A comprehensive review on antioxidant dietary fibre enriched meat-based functional foods. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 99, pp. 323–336). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.010>

- Da Silva Souza, M. A., Peres, L. E. P., Freschi, J. R., Purgatto, E., Lajolo, F. M., & Hassimotto, N. M. A. (2020). Changes in flavonoid and carotenoid profiles alter volatile organic compounds in purple and orange cherry tomatoes obtained by allele introgression. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(4), 1662–1670. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10180>
- De Andrade Lima, M., Kestekoglou, I., Charalampopoulos, D., & Chatzifragkou, A. (2019). Supercritical fluid extraction of carotenoids from vegetable waste matrices. *Molecules*, 24(3). <https://doi.org/10.3390/molecules24030466>
- Devi, K. P., Malar, D. S., Nabavi, S. F., Sureda, A., Xiao, J., Nabavi, S. M., & Daglia, M. (2015). Kaempferol and inflammation: From chemistry to medicine. *Pharmacological Research*, 99, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2015.05.002>
- Domínguez, R., Gullón, P., Pateiro, M., Munekata, P. E. S., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2020). Tomato as potential source of natural additives for meat industry. A review. In *Antioxidants* (Vol. 9, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox9010073>
- Dzakovich, M. P., Gas-Pascual, E., Orchard, C. J., Sari, E. N., Riedl, K. M., Schwartz, S. J., Francis, D. M., & Cooperstone, J. L. (2019). Analysis of Tomato Carotenoids: Comparing Extraction and Chromatographic Methods. *Journal of AOAC International*, 102(4), 1069–1079. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.19-0017>
- Essa, M. M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S. B., Al-Balushi, B., Hamdan, H., Govindarajan, N., Freidland, R. P., & Qoronfleh, M. W. (2021). Functional foods and their impact on health. In *Journal of Food Science and Technology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05193-3>
- Eyiler, E., & Oztan, A. (2011). Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. *LWT*, 44(1), 307–311. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.07.004>
- Fernández, M. de los Á., Espino, M., Gomez, F. J. V., & Silva, M. F. (2018). Novel approaches mediated by tailor-made green solvents for the extraction of phenolic compounds from agro-food industrial by-products. *Food Chemistry*, 239, 671–678. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.150>
- Ford, N. A., Elsen, A. C., Zuniga, K., Lindshield, B. L., & Erdman, J. W. (2011). Lycopene and apo-12'-lycopenal reduce cell proliferation and alter cell cycle progression in human prostate cancer cells. *Nutrition and Cancer*, 63(2), 256–263. <https://doi.org/10.1080/01635581.2011.523494>

- García-Valverde, V., Navarro-González, I., García-Alonso, J., & Periago, M. J. (2013). Antioxidant Bioactive Compounds in Selected Industrial Processing and Fresh Consumption Tomato Cultivars. *Food and Bioprocess Technology*, 6(2), 391–402. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0687-3>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.024>
- Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary Modulation of the Human Colonic Microbiota: Introducing the Concept of Prebiotics. *The Journal of Nutrition*, 125(6), 1401–1412. <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401>
- Giovannucci, E., Ascherio, A., Rimm, E. B., Stampfer, M. J., Colditz, G. A., & Willett, W. C. (1995). Intake of Carotenoids and Retino in Relation to Risk of Prostate Cancer. *JNCI Journal of the National Cancer Institute*, 87(23), 1767–1776. <https://doi.org/10.1093/jnci/87.23.1767>
- Gonzali, S., & Perata, P. (2020). Anthocyanins from Purple Tomatoes as Novel Antioxidants to Promote Human Health. *Antioxidants*, 9(10), 1017. <https://doi.org/10.3390/antiox9101017>
- Grajek, W., Olejnik, A., & Sip, A. (2005). Probiotics, prebiotics and antioxidants as functional foods. *Acta Biochimica Polonica*, 52(3), 665–671.
- Güder, A. (2016). Influence of Total Anthocyanins from Bitter Melon (*Momordica charantia* Linn.) as Antidiabetic and Radical Scavenging Agents. In *Shaheed Beheshti University of Medical Sciences and Health Services Iranian Journal of Pharmaceutical Research* (Vol. 15, Issue 1).
- Guil-Guerrero, J. L., & Rebollosa-Fuentes, M. M. (2009). Nutrient composition and antioxidant activity of eight tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(2), 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.10.012>
- Gulcin, İ. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. *Archives of Toxicology*, 94(3), 651–715. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>
- Haminiuk, C. W. I., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S. V., & Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits - an overview. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(10), 2023–2044. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x>

- Heinz, V., Toepfl, S., & Knorr, D. (2003). Impact of temperature on lethality and energy efficiency of apple juice pasteurization by pulsed electric fields treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4(2), 167–175. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(03\)00017-1](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(03)00017-1)
- Hosseinzadeh, H., & Nassiri-Asl, M. (2014). Review of the protective effects of rutin on the metabolic function as an important dietary flavonoid. *Journal of Endocrinological Investigation*, 37(9), 783–788. <https://doi.org/10.1007/s40618-014-0096-3>
- Hygreeva, D., Pandey, M. C., & Radhakrishna, K. (2014). Potential applications of plant based derivatives as fat replacers, antioxidants and antimicrobials in fresh and processed meat products. *Meat Science*, 98(1), 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.04.006>
- Ilahy, R., Hdider, C., Lenucci, M. S., Tlili, I., & Dalessandro, G. (2011). Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening of high-lycopene tomato cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(4–5), 588–595. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.11.003>
- International Life Sciences Institute (ILSI). (1999). Scientific Concepts of Functional Foods in Europe Consensus Document. *British Journal of Nutrition*, 81(4), S1–S27. <https://doi.org/10.1017/S0007114599000471>
- Kamiloglu, S., Demirci, M., Selen, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D., & Capanoglu, E. (2014). Home processing of tomatoes (*Solanum lycopersicum*): effects on *in vitro* bioaccessibility of total lycopene, phenolics, flavonoids, and antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(11), 2225–2233. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6546>
- Karppi, J., Laukkanen, J. A., & Kurl, S. (2012). Plasma lutein and zeaxanthin and the risk of age-related nuclear cataract among the elderly Finnish population. *British Journal of Nutrition*, 108(1), 148–154. <https://doi.org/10.1017/S0007114511005332>
- Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of Food Science and Technology*, 48(4), 412–422. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0251-1>
- Kotíková, Z., Lachman, J., Hejtmánková, A., & Hejtmánková, K. (2011). Determination of antioxidant activity and antioxidant content in tomato varieties and evaluation of mutual interactions between antioxidants. *LWT - Food Science and Technology*, 44(8), 1703–1710. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.015>

- Kua, Y. L., Gan, S., Morris, A., & Ng, H. K. (2016). Ethyl lactate as a potential green solvent to extract hydrophilic (polar) and lipophilic (non-polar) phytonutrients simultaneously from fruit and vegetable by-products. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 4, 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2016.07.003>
- Lama-Muñoz, A., & Contreras, M. del M. (2022). Extraction Systems and Analytical Techniques for Food Phenolic Compounds: A Review. In *Foods* (Vol. 11, Issue 22). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods11223671>
- Lenucci, M. S., Cadinu, D., Taurino, M., Piro, G., & Dalessandro, G. (2006). Antioxidant Composition in Cherry and High-Pigment Tomato Cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(7), 2606–2613. <https://doi.org/10.1021/jf052920c>
- Lianfu, Z., & Zelong, L. (2008). Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UAE) of lycopene from tomatoes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(5), 731–737. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2007.12.001>
- Li, H., Deng, Z., Liu, R., Loewen, S., & Tsao, R. (2013). Carotenoid compositions of coloured tomato cultivars and contribution to antioxidant activities and protection against H₂O₂-induced cell death in H9c2. *Food Chemistry*, 136(2), 878–888. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.08.020>
- Li, H., Deng, Z., Liu, R., Young, J. C., Zhu, H., Loewen, S., & Tsao, R. (2011). Characterization of phytochemicals and antioxidant activities of a purple tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(21), 11803–11811. <https://doi.org/10.1021/jf202364v>
- Liu, C., Cai, L., Lu, X., Han, X., & Ying, T. (2012). Effect of Postharvest UV-C Irradiation on Phenolic Compound Content and Antioxidant Activity of Tomato Fruit During Storage. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(1), 159–165. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(12\)60794-9](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(12)60794-9)
- López-Bascón, M. A., & Luque de Castro, M. D. (2020). Soxhlet Extraction. In *Liquid-Phase Extraction* (pp. 327–354). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816911-7.00011-6>
- Luengo, E., Álvarez, I., & Raso, J. (2014). Improving Carotenoid Extraction from Tomato Waste by Pulsed Electric Fields. *Frontiers in Nutrition*, 1. <https://doi.org/10.3389/fnut.2014.00012>
- Mandal, V., & Hemalatha, S. (2007). *Microwave Assisted Extraction-An Innovative and Promising Extraction Tool for Medicinal Plant Research Antidiarrhoeal evaluation of*

- some Indian medicinal plants traditionally used in treatment of diarrhoea View project. <https://www.researchgate.net/publication/237218276>
- Martí, R., Valcárcel, M., Herrero-Martínez, J. M., Cebolla-Cornejo, J., & Roselló, S. (2017). Simultaneous determination of main phenolic acids and flavonoids in tomato by micellar electrokinetic capillary electrophoresis. *Food Chemistry*, 221, 439–446. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.105>
- Mehta, D., Prasad, P., Sangwan, R. S., & Yadav, S. K. (2018). Tomato processing byproduct valorization in bread and muffin: improvement in physicochemical properties and shelf life stability. *Journal of Food Science and Technology*, 55(7), 2560–2568. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3176-0>
- Mes, P. J., Boches, P., Myers, J. R., & Durst, R. (2008). Characterization of Tomatoes Expressing Anthocyanin in the Fruit. In *J. AMER. SOC. HORT. SCI* (Vol. 133, Issue 2).
- Mirahmadi, M., Azimi-Hashemi, S., Saburi, E., Kamali, H., Pishbin, M., & Hadizadeh, F. (2020). Potential inhibitory effect of lycopene on prostate cancer. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 129, 110459. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110459>
- Mordor Intelligence. (n.d.). *MERCADO DE ALIMENTOS FUNCIONALES: CRECIMIENTO, TENDENCIAS Y PRONÓSTICOS (2023 - 2028)*. Retrieved May 19, 2023, from <https://mordorintelligence.com/es/industry-reports/global-functional-food-market>
- Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3380. <https://doi.org/10.3390/ijms22073380>
- Observatorio tecnológico del tomate para la industria. (2023). Retrieved May 12, 2023, from <https://observatoriotomate.com/produccion/#:~:text=Mundial,%2C%20Italia%2C%20Espa%C3%B1a%20y%20Turqu%C3%ADa>
- Oluk, A. C., Ata, A., Ünlü, M., Yazici, E., Karaşahin, Z., Eroğlu, E. Ç., & Canan, I. (2019). Biochemical characterisation and sensory evaluation of differently coloured and shaped tomato cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3). <https://doi.org/10.15835/nbha47311382>
- Özyürek, M., Güçlü, K., & Apak, R. (2011). The main and modified CUPRAC methods of antioxidant measurement. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30(4), 652–664. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.11.016>

- Pataro, G., Carullo, D., Falcone, M., & Ferrari, G. (2020). Recovery of lycopene from industrially derived tomato processing by-products by pulsed electric fields-assisted extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102369>
- Periago, M. J., Martínez-Valverde, I., Chesson, A., & Provan, G. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(3), 323–330. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1035>
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Rao, A. V., & Agarwal, S. (2000). Role of Antioxidant Lycopene in Cancer and Heart Disease. *Journal of the American College of Nutrition*, 19(5), 563–569. <https://doi.org/10.1080/07315724.2000.10718953>
- Re, R., Bramley, P. M., & Rice-Evans, C. (2002). Effects of food processing on flavonoids and lycopene status in a Mediterranean tomato variety. *Free Radical Research*, 36(7), 803–810. <https://doi.org/10.1080/10715760290032584>
- Ribeiro, B. D., Florindo, C., Iff, L. C., Coelho, M. A. Z., & Marrucho, I. M. (2015). Menthol-based eutectic mixtures: Hydrophobic low viscosity solvents. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 3(10), 2469–2477. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b00532>
- Ruxton, C. H. S., Reed, S. C., Simpson, M. J. A., & Millington, K. J. (2004). The health benefits of omega-3 polyunsaturated fatty acids: a review of the evidence. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 17(5), 449–459. <https://doi.org/10.1111/j.1365-277X.2004.00552.x>
- Sainju, U. M., Dris, R., & Singh, B. (2003). Mineral nutrition of tomato. *Food Agric. Environ*, 1(2), 176–183.
- Saldaña, M. D. A., Temelli, F., Guigard, S. E., Tomberli, B., & Gray, C. G. (2010). Apparent solubility of lycopene and β -carotene in supercritical CO₂, CO₂+ethanol and CO₂+canola oil using dynamic extraction of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 99(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.017>
- Salehi, B., Fokou, P. V. T., Sharifi-Rad, M., Zucca, P., Pezzani, R., Martins, N., & Sharifi-Rad, J. (2019). The therapeutic potential of naringenin: A review of clinical

- trials. In *Pharmaceutics* (Vol. 12, Issue 1). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ph12010011>
- Sapkale, G. N., Patil, S. M., Surwase, U. S., & Bhatbhage, P. K. (2010). SUPERCRITICAL FLUID EXTRACTION. In *Int. J. Chem. Sci* (Vol. 8, Issue 2).
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18, 757–781. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>
- Silva, Y. P. A., Ferreira, T. A. P. C., Jiao, G., & Brooks, M. S. (2019). Sustainable approach for lycopene extraction from tomato processing by-product using hydrophobic eutectic solvents. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1649–1654. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03618-8>
- Simopoulos, A. P. (2004). Omega-6/Omega-3 Essential Fatty Acid Ratio and Chronic Diseases. *Food Reviews International*, 20(1), 77–90. <https://doi.org/10.1081/FRI-120028831>
- Sirivibulkovit, K., Nouanthavong, S., & Sameenoi, Y. (2018). Paper-based DPPH Assay for Antioxidant Activity Analysis. *Analytical Sciences*, 34(7), 795–800. <https://doi.org/10.2116/analsci.18P014>
- Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite*, 51(3), 456–467. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.05.060>
- Slimestad, R., & Verheul, M. (2009). Review of flavonoids and other phenolics from fruits of different tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(8), 1255–1270. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3605>
- Soares, N. D. C. P., De Barros Elias, M., MacHado, C. L., Trindade, B. B., Borojevic, R., & Teodoro, A. J. (2019). Comparative analysis of lycopene content from different tomato-based food products on the cellular activity of prostate cancer cell lines. *Foods*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/foods8060201>
- Song, Y.-K., Yoon, J.-H., Woo, J. K., Kang, J.-H., Lee, K.-R., Oh, S. H., Chung, S.-J., & Maeng, H.-J. (2020). Quercetin Is a Flavonoid Breast Cancer Resistance Protein Inhibitor with an Impact on the Oral Pharmacokinetics of Sulfasalazine in Rats. *Pharmaceutics*, 12(5), 397. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12050397>
- Soquetta, M. B., Terra, L. de M., & Bastos, C. P. (2018). Green technologies for the extraction of bioactive compounds in fruits and vegetables. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 400–412. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1411978>

- Sparr Eskilsson, C., & Björklund, E. (2000). Analytical-scale microwave-assisted extraction. *Journal of Chromatography A*, 902(1), 227–250. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00921-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00921-3)
- Strati, I. F., & Oreopoulou, V. (2011). Effect of extraction parameters on the carotenoid recovery from tomato waste. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(1), 23–29. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02496.x>
- Szabo, K., Mitrea, L., Călinoiu, L. F., Teleky, B.-E., Martău, G. A., Plamada, D., Pascuta, M. S., Nemeş, S.-A., Varvara, R.-A., & Vodnar, D. C. (2022). Natural Polyphenol Recovery from Apple-, Cereal-, and Tomato-Processing By-Products and Related Health-Promoting Properties. *Molecules*, 27(22), 7977. <https://doi.org/10.3390/molecules27227977>
- Szabo, K., Teleky, B. E., Mitrea, L., Călinoiu, L. F., Martău, G. A., Simon, E., Varvara, R. A., & Vodnar, D. C. (2020). Active packaging-poly (vinyl alcohol) films enriched with tomato by-products extract. *Coatings*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/coatings10020141>
- Tamasi, G., Pardini, A., Bonechi, C., Donati, A., Pessina, F., Marcolongo, P., Gamberucci, A., Leone, G., Consumi, M., Magnani, A., & Rossi, C. (2019). Characterization of nutraceutical components in tomato pulp, skin and locular gel. *European Food Research and Technology*, 245(4), 907–918. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03235-x>
- Tenore, G. C., Caruso, D., D'avino, M., Buonomo, G., Caruso, G., Ciampaglia, R., Schiano, E., Maisto, M., Annunziata, G., & Novellino, E. (2020). A pilot screening of agro-food waste products as sources of nutraceutical formulations to improve simulated postprandial glycaemia and insulinaemia in healthy subjects. *Nutrients*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/nu12051292>
- Toor, R. K., & Savage, G. P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*, 38(5), 487–494. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.10.016>
- Tormo Carnicé, R. (2006). Probióticos. Concepto y mecanismos de acción. *Anales de Pediatría*, 04, 30–41. <https://www.analesdepediatría.org/es-probioticos-concepto-mecanismos-accion-articulo-13092364>
- Torres-Osorio, V., Urrego, R., Echeverri Zuluaga, J. J., & López-Herrera, A. (2019). Estrés oxidativo y el uso de antioxidantes en la producción in vitro de embriones

- mamíferos. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(2), 433–459.
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4652>
- Tranfić Bakić, M., Pedisić, S., Zorić, Z., Dragović-Uzelac, V., & Ninčević Grassino, A. (2019). Effect of Microwave-Assisted Extraction on Polyphenols Recovery from Tomato Peel Waste. *Acta Chimica Slovenica*, 66(2), 367–377.
<https://doi.org/10.17344/acsi.2018.4866>
- Trombino, S., Cassano, R., Procopio, D., Di Gioia, M. L., & Barone, E. (2021). Valorization of tomato waste as a source of carotenoids. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 16). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules26165062>
- Tur, J. A., & Bibiloni, M. M. (2016). Functional Foods. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 157–161). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00340-8>
- Valenzuela-Melendres, M., Camou, J. P., Torrentera-Olivera, N. G., Viuda-Martos, M., & González-Rios, H. (2018). Nutritional quality of beef patties with added flaxseed and tomato paste. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 263–270.
<https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1391333>
- Vela-Hinojosa, C., Escalona-Buendía, H. B., Mendoza-Espinoza, J. A., Villa-Hernández, J. M., Lobato-Ortíz, R., Rodríguez-Pérez, J. E., & Pérez-Flores, L. J. (2019). Antioxidant Balance and Regulation in Tomato Genotypes of Different Color. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 144(1), 45–54.
<https://doi.org/10.21273/JASHS04525-18>
- Vonschacky, C., & Harris, W. (2007). Cardiovascular benefits of omega-3 fatty acids. *Cardiovascular Research*, 73(2), 310–315.
<https://doi.org/10.1016/j.cardiores.2006.08.019>
- Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., & Prior, R. L. (2004). Lipophilic and Hydrophilic Antioxidant Capacities of Common Foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12), 4026–4037.
<https://doi.org/10.1021/jf049696w>
- Yan, S., Chen, N., Huang, Z., Li, D., Zhi, J., Yu, B., Liu, X., Cao, B., & Qiu, Z. (2020). Anthocyanin Fruit encodes an R2R3-MYB transcription factor, SIAN2-like, activating the transcription of SIMYBATV to fine-tune anthocyanin content in tomato fruit. *New Phytologist*, 225(5), 2048–2063. <https://doi.org/10.1111/nph.16272>
- Zhang, Y., Butelli, E., Alseekh, S., Tohge, T., Rallapalli, G., Luo, J., Kwar, P. G., Hill, L., Santino, A., Fernie, A. R., & Martin, C. (2015). Multi-level engineering facilitates

the production of phenylpropanoid compounds in tomato. *Nature Communications*, 6. <https://doi.org/10.1038/ncomms9635>

Zheng, Y., Zhao, Z., Fan, L., Meng, S., Song, C., Qiu, L., Xu, P., & Chen, J. (2017). Dietary supplementation with rutin has pro-/anti-inflammatory effects in the liver of juvenile GIFT tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Fish and Shellfish Immunology*, 64, 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.03.014>