



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN**  
**ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE ALIMENTOS**



---

**Tema:** Estudio de los beneficios del consumo de licopeno como suplemento alimenticio

---

Informe Final de Integración Curricular, Modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología

**Autor:** Doménica Aydee López Acosta

**Tutor:** Dra. Liliana Alexandra Cerda Mejía

**Ambato – Ecuador**

**Septiembre 2022**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Dra. Liliana Alexandra Cerda Mejía

CERTIFICA

Que el presente Informe Final de Integración Curricular ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación del Informe Final de Integración Curricular bajo la modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grado de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 22 de agosto de 2022

.....

Dra. Liliana Alexandra Cerda Mejía

C.I. 180414808-6

**TUTOR**

## DECLARACIÓN DE AUTENCIDAD

Yo, Doménica Aydee López Acosta, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final de Integración Curricular, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



---

Doménica Aydee López Acosta

C.I. 180367742-4

**AUTORA**

## **APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO**

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final de Integración Curricular, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Amato.

Para consistencia firman:

.....

Presidente del Tribunal

.....

Dr. Esteban Mauricio Fuentes Pérez

C.I. 180332150-2

.....

Dr. Rubén Dario Vilcacundo Chamorro

C.I. 180273810-2

Ambato, 31 de agosto del 2022

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final de Integración Curricular o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final de Integración Curricular, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



---

Doménica Aydee López Acosta

C.I. 180367742-4

**AUTORA**

## DEDICATORIA

*No, no tuve suerte. Trabajé por ello.*

*Aprendí que sí soy capaz de soñarlo, soy capaz de lograrlo y que no se brilla  
apagando a los demás.*

*Dedico mi trabajo de investigación a Dios, mi ser de luz, refugio y sustento que, con  
su bendición y protección, él está conmigo en todo momento.*

*A mis padres por su apoyo incondicional, sabiduría, amor y valores inculcados,  
además de su gran motivación, sacrificio y cuidado han hecho de mí no declinar, me  
han ayudado tanto a realizar mis sueños y lograr está una de mis más grandes  
metas, hay mucho camino por recorrer y que no les quede duda que lo que me han  
enseñado en cada segundo de mi vida lo aplicaré para ser mejor.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Es el final de un bonito principio, agradezco principalmente a Dios por ser mi guía y fortaleza, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el proceso de estudio.*

*A mis padres, hermana y amigos gracias porque estuvieron conmigo en mis alegrías, tristezas, buenos y malos momentos por cada consejo valioso, palabras de aliento que llegaron a mí y de lo que hoy me hace sentir orgullosa.*

*A mi tutora de tesis por su amplio conocimiento y gran trayectoria quien me oriento a desarrollar con éxito la investigación.*

## INDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENCIDAD.....	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO .....	iv
DERECHOS DE AUTOR.....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
INDICE GENERAL.....	viii
INDICE DE TABLAS .....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPITULO I.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
1.1.    Antecedentes Investigativos .....	15
1.1.1.    Definición y características del licopeno .....	15
1.1.2.    Estructura y propiedades fisicoquímicas del licopeno.....	15
1.1.3.    Estabilidad del licopeno.....	17
1.1.3.1.    Efectos a la exposición a la luz .....	18
1.1.3.2.    Efectos de la oxidación .....	18
1.1.3.3.    Efectos de la temperatura .....	18
1.1.3.4.    Efectos del almacenamiento.....	19
1.1.3.5.    Efectos del tratamiento térmico .....	19
1.1.3.6.    Efectos de los iones metálicos.....	19
1.1.4.    Biodisponibilidad del licopeno .....	19
1.1.5.    Aplicación del licopeno en alimentos.....	20

1.1.6.	Beneficios del licopeno.....	20
1.1.6.1.	Estudios in vitro .....	20
1.1.6.2.	Estudios en animales .....	21
1.1.6.3.	Estudios en seres humanos.....	21
1.1.7.	Suplemento alimenticio .....	21
1.2.	Objetivos.....	22
1.2.1.	Objetivo general.....	22
1.2.2.	Objetivos específicos .....	22
CAPITULO II .....		23
METODOLOGÍA .....		23
2.	Búsqueda de la información.....	23
2.1.	Bases de datos de investigación científica.....	23
2.2.	Organización de la información .....	23
2.3.	Análisis de la información.....	24
CAPITULO III.....		25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		25
3.	Análisis y discusión de resultados.....	25
3.1.	Fuentes de licopeno naturales.....	26
3.2.	Proceso térmico sobre el contenido de licopeno .....	29
3.3.	Tecnologías de extracción y purificación del licopeno .....	29
3.4.	Subproductos ricos en licopeno.....	30
3.5.	Absorción digestiva, metabolismo y transporte de licopeno.....	35
3.5.1.	Absorción y digestión de licopeno.....	35
3.5.2.	Influencia de la composición de la matriz alimentaria en la biodisponibilidad del licopeno .....	37
3.5.3.	Transporte y metabolismo .....	38
3.6.	Implicaciones del licopeno en el organismo .....	38

3.7. Ingesta y beneficios del licopeno .....	39
CAPITULO IV .....	43
CONCLUSIONES .....	43
RECOMENDACIONES .....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> .....	27
Contenido de licopeno en diferentes variedades de tomate .....	27
<b>Tabla 2.</b> .....	27
Contenido de licopeno en alimentos sin procesar .....	27
<b>Tabla 3.</b> .....	28
Contenido de licopeno en alimentos procesados .....	28
<b>Tabla 4.</b> .....	31
Principales métodos de extracción y purificación del licopeno .....	31
<b>Tabla 5.</b> .....	39
Niveles de licopeno en plasma de personas de diferentes países.....	39
<b>Tabla 6.</b> .....	40
Relación del licopeno contra enfermedades.....	40

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química del licopeno .....	16
Figura 2. Estructura química de los isómeros <i>all-trans</i> y <i>cis</i> del licopeno .....	17
Figura 3. Extracto de suspensión estable de cristales de licopeno en glicerol. Tomat-O-Red 2% SG.....	25
Figura 4. Mecanismo de digestión y absorción del licopeno en el tracto gastrointestinal humano.....	37
Figura 5. Frecuencia de consumo de alimentos fuentes de licopeno .....	41

## RESUMEN

Una dieta rica en alimentos que contienen carotenoides está relacionada con beneficios para la salud. El interés por el licopeno crece rápidamente debido a que es un pigmento natural que se caracteriza por un alto potencial antioxidante y estructuras fisicoquímicas únicas, que contribuyen a propiedades biológicas específicas que se relacionan con el color rojo presente en los tomates y productos derivados. En las fuentes vegetales donde se encuentra el licopeno, el isómero predominantemente es el *all-trans*; sin embargo, la forma más biodisponible es el *cis*-licopeno. En los resultados de la revisión se resaltan los mecanismos de acción del licopeno, bioactividad, absorción digestiva, metabolismo, transporte y estabilidad. El estudio integral del alimento visto como una matriz alimentaria, involucra no solamente el aspecto nutricional, sino también todos aquellos elementos que pueden formar parte de la alimentación.

Por lo antes expuesto diversas publicaciones demuestran una asociación del consumo de licopeno en la dieta con el papel preventivo de cierto tipo de enfermedades, donde se relaciona la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, cáncer y otros padecimientos. Sin embargo, como suplemento alimenticio, el licopeno es envasado en botellas oscuras para lograr una protección frente a la exposición de la luz, debido a que el mismo puede sufrir procesos de degradación y pérdida de bioactividad; optar por un suplemento de licopeno aportará la cantidad adecuada de este antioxidante, no existe un conceso sobre la dosis diaria recomendada, la misma que se encuentra en el rango de 7 a 70 miligramos al día.

**Palabras clave:** licopeno, suplementos alimenticios, tomate, biodisponibilidad, componentes bioactivos.

## ABSTRACT

A diet rich in foods containing carotenoids is associated with health benefits. Interest in lycopene is growing rapidly because it is a natural pigment characterized by high antioxidant potential and unique physicochemical structures that contribute to specific biological properties related to the red color present in tomatoes and tomato products. In plant sources where lycopene is found, the isomer is predominantly all-trans; however, the most bioavailable form is cis -lycopene. In the results of the review, the mechanisms of action of lycopene, bioactivity, digestive absorption, metabolism, transport and stability are highlighted. The comprehensive study of food seen as a food matrix, involves not only the nutritional aspect, but also all those elements that can be part of the diet.

Due to the above, various publications show an association between the consumption of lycopene in the diet and the preventive role of certain types of diseases, where the reduction of the risk of cardiovascular diseases, cancer and other ailments is related. However, as a food supplement, lycopene is packaged in dark bottles to achieve protection against light exposure, because it can undergo degradation processes and loss of bioactivity; opting for a lycopene supplement will provide the right amount of this antioxidant, there is no consensus on the recommended daily dose, which is in the range of 7 to 70 milligrams per day.

**Key words:** lycopene, food supplements, tomato, bioavailability, bioactive components

## CAPITULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Antecedentes Investigativos

##### 1.1.1. Definición y características del licopeno

El licopeno es un pigmento lipofílico vegetal de color rojo, soluble en grasas, presente principalmente en frutas y verduras. Su acción sobre las plantas es absorber la luz durante la fotosíntesis protegiéndolas contra la fotosensibilidad (Gámez, 2017). Este pigmento es sintetizado exclusivamente por plantas y microorganismos como *Dunaliella salina*, *Xanthophyllomyces dendrorhous*, *Haematococcus pluvialis*, y *Blakeslea trispora* (Mehta, Obraztsova, & Cerdá-Olmedo, 2003; Raja, Hemaiswarya, & Rengasamy, 2007).

En la naturaleza se encuentran más de 600 carotenoides, de los cuales 40 están presentes en la dieta, siendo los principales el  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno, licopeno,  $\alpha$ -criptoxantina, luteína y zeaxantina; alrededor de 20 han sido identificados en la sangre y tejidos (Rao, Ray, & Rao, 2018). En general el licopeno se encuentra en verduras de color amarillo, rojo y naranja (tomates y zanahorias), frutas (guayaba, sandía y papaya) y en flores (Gonzalvez, Martin, Slowing, & Gonzalez Ureña, 2014). El licopeno es el carotenoide más abundante en el tomate (*Lycopersicon esculentum*) figurando del 80 al 90% aproximadamente de los pigmentos (Waliszewski & Blasco, 2010).

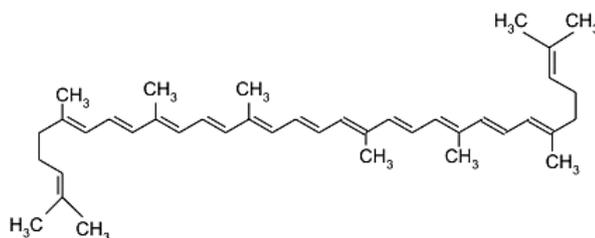
Actualmente se conoce que el licopeno es ideal para combatir el estrés oxidativo, debido a su enorme potencial antioxidante y otros beneficios para la salud (Gámez, 2017).

##### 1.1.2. Estructura y propiedades fisicoquímicas del licopeno

El licopeno es un antioxidante altamente efectivo que debido a la alta reactividad entre la cadena poliénica larga y los radicales libres, permite la eliminación del oxígeno singlete y la reducción de las especies reactivas de oxígeno (ROS). La reactividad del licopeno en los sistemas biológicos depende de su estructura física y molecular,

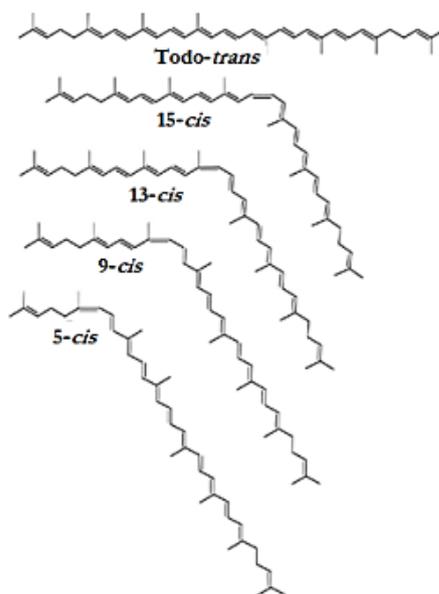
ubicación o sitio de acción dentro de las células, capacidad para interactuar con otros antioxidantes, concentración y presión parcial de oxígeno (Przybylska & Tokarczyk, 2022). Tiene la capacidad de desactivar el oxígeno singlete alrededor de dos veces más que el  $\beta$ -caroteno y diez veces más que el  $\alpha$ -tocoferol (Quevedo Torres et al., 2020).

La fórmula molecular del licopeno es  $C_{40}H_{56}$  y masa atómica de 536,85 g/mol, que incluye una estructura tetra-terpenoide de cadena abierta acíclica que contiene trece enlaces dobles de los cuales once son conjugados y de forma lineal (Figura 1), gracias a esta disposición química se atribuye su actividad antioxidante. El licopeno presenta 2048 configuraciones electrónicas diferentes, y su estructura química está conformada por isómeros *cis* e isómeros *all-trans*, de los cuales posee 72 isómeros estables estructuralmente, entre los isómeros *cis* más comunes son 5-*cis*, 9-*cis*, 13-*cis* y 15-*cis* (Gámez, 2017). De ellos el más estable es el 5-*cis* ya que tiene una capacidad antioxidante extremadamente alta (Figura 2) (Liang, Ma, Yan, Liu, & Liu, 2019).



**Figura 1.** Estructura química del licopeno

**Fuente:** Periago et al., (2015)



**Figura 2.** Estructura química de los isómeros *all-trans* y *cis* del licopeno

**Fuente:** Gámez, (2017)

La isomería geométrica *all-trans* y *cis* que presenta el licopeno es debido a la presencia de sus dobles enlaces y una de las características en las que se diferencian estos isómeros es estructuralmente, ya que de ello dependen las propiedades biológicas y químicas. El isómero *all-trans* es encontrado en la naturaleza en un 95%, sus moléculas son largas, rígidas y lineales, además la distribución acíclica aporta a la estabilidad frente a factores externos como la exposición a la luz o a altas temperaturas (Gámez, 2017). Mientras que los isómeros *cis* se encuentran replegados, ocupando menos espacio debido a su corta longitud, se solubilizan con más facilidad, lo que mejora la absorción y transporte a nivel celular; este tipo de isómeros posee menor punto de fusión, menor intensidad de color de las plantas en las que se encuentre presente, coeficiente de extinción y valores máximos de espectro ultravioleta-visible, estas son particularidades en las que se diferencia de los isómeros *all-trans* (Arballo, Amengual, & Erdman, 2021).

### 1.1.3. Estabilidad del licopeno

El licopeno al ser un compuesto termolábil y sensible tiende a sufrir degradación con una cinética de primer orden e isomerización, al igual que los demás carotenoides (Gámez, 2017).

### **1.1.3.1.Efectos a la exposición a la luz**

La luz y su intensidad inducirá a la degradación oxidativa y a la isomerización del licopeno, la relación es directamente proporcional aunque sus pérdidas son menos relevantes a diferencia del efecto de la temperatura (**Gámez, 2017**).

**Shi, Le Maguer, Bryan, & Kakuda (2010)** mencionan que los isómeros *cis* son más vulnerables a la irradiación de luz, tras la aplicación de diferentes intensidades de pulsos de luz durante 12 días a 5°C, estas radiaciones resultaron ser más perjudicial para este tipo de isómeros a comparación de la cantidad total de licopeno y los isómeros *all-trans* que no se vieron modificados.

### **1.1.3.2.Efectos de la oxidación**

La oxidación del licopeno puede ocurrir de dos formas, la autooxidación que es una reacción espontánea en cadena de radicales libres bajo la presencia de oxígeno o por fotooxidación que es producida por el oxígeno en presencia de luz (**Martínez-Hernández et al., 2016**).

Según **Gámez (2017)** el licopeno es muy estable cuando está en el fruto, pero muy susceptible cuando se extrae y purifica, es así como la degradación del licopeno resulta ser mayor cuanto más expuesto a agentes oxidativos. La intensidad de la oxidación depende de la estructura de los carotenoides y las condiciones ambientales (**Martínez-Hernández et al., 2016**).

### **1.1.3.3.Efectos de la temperatura**

A temperaturas menores a 100°C, el licopeno es relativamente estable, específicamente en la matriz del tomate, pero a temperaturas más elevadas el isómero *all-trans* se isomeriza en *cis* por lo que se torna menos estable y rojizo. El isómero *cis* aumenta de nivel siempre que la temperatura y tiempo de procesamiento no supere las 2 horas (**Luterotti, Bicanic, Marković, & Franko, 2015**).

Existe un sin número de factores que pueden influir en la estabilidad del licopeno como: composición del alimento, almacenamiento, condiciones ambientales y presencia ausencia de oxígeno, independientemente del valor de la temperatura, cuán mayor esta se encuentre se verán más reflejadas las pérdidas de licopeno, ya que su calentamiento es prolongado; en cambio el efecto es inverso si la temperatura está por debajo de los 0°C (**Gámez, 2017**). **Martínez-Hernández et al. (2016)** confirman que

el contenido de licopeno en tomate congelado a  $-30^{\circ}\text{C}$  es un 43% mayor en comparación con  $-20^{\circ}\text{C}$ .

#### **1.1.3.4.Efectos del almacenamiento**

Las condiciones óptimas y adecuadas para un correcto almacenamiento del licopeno dependen de la oscuridad, bajo contenido de agua, temperaturas de congelación y entre ellos el factor principal indudablemente es la presencia de oxígeno (**Gámez, 2017**).

#### **1.1.3.5.Efectos del tratamiento térmico**

El proceso térmico afecta la configuración del licopeno, ya que transforma los isómeros *all-trans* a *cis* durante este tratamiento, es así que conduce a una disminución significativa de la cantidad total de licopeno, por lo que durante el procesamiento la reducción del tiempo del tratamiento térmico es fundamental para prevenir en gran medida la degradación oxidativa (**Liang et al., 2019**).

#### **1.1.3.6.Efectos de los iones metálicos**

Los iones metálicos son otra causa de la degradación del licopeno; los iones que más afectan la estabilidad son el  $\text{Fe}^{+3}$  y  $\text{Cu}^{+2}$ . La reacción que presenta el hierro con el catión de los radicales libres de los carotenoides, es para la formación del ion ferroso, de manera que los radicales libres resultantes llegan a degradarse aún más, lo que trae consigo la pérdida de carotenoides (**Liang et al., 2019**).

#### **1.1.4. Biodisponibilidad del licopeno**

La biodisponibilidad hace referencia a una pequeña fracción de la ingesta de ingredientes o nutrientes que pueden ser utilizados para funciones fisiológicas o de almacenamiento, en general, la biodisponibilidad incluye: la digestión del tracto gastrointestinal, el metabolismo, la absorción, la bioactividad y la distribución tisular (**Carbonell-Capella, Buniowska, Barba, Esteve, & Frígola, 2014**).

Este es un término que es afín con la bioaccesibilidad, que se lo puede definir como la cantidad o fracción de licopeno que se libera de la matriz alimentaria o suplemento alimenticio, el mismo que será incorporado a las micelas y absorbido por el tracto intestinal durante la digestión (**Liang et al., 2019**).

La biodisponibilidad varían según la matriz alimenticia y está asociada con las estructuras moleculares, tipos, ingestión y sustratos alimentarios e interacción con la dieta (**Desmarchelier & Borel, 2017**). Un factor sustancial que contribuye a la

biodisponibilidad del licopeno es la sinergia que se produce con otros compuestos antioxidantes como la vitamina E y C (**Waliszewski & Blasco, 2010**).

Debido al carácter liposoluble del licopeno, su comportamiento y transporte en el organismo es similar al de una grasa (**Gámez, 2017**), el mecanismo por el cual diferentes aceites pueden mejorar su biodisponibilidad está basado principalmente en dos puntos, la estimulación de los lípidos frente a los quilomicrones que ayudan a transportar el licopeno a la transmembrana; por otro lado los lípidos pueden brindar protección al licopeno de efectos en el tracto gastrointestinal, llegando a retrasar al metabolismo y por ende al ingreso del licopeno al organismo, optimizando así su biodisponibilidad (**Liang et al., 2019**).

#### **1.1.5. Aplicación del licopeno en alimentos**

El licopeno tiene una extensa perspectiva de aplicación como suplemento nutricional, agente colorante y aditivo alimentario dentro del campo de la industria y procesamiento de alimentos. Actualmente la utilidad del licopeno ha avanzado progresivamente con el propósito de incorporar en el mercado alimentos saludables, que contengan este tipo de antioxidante, ya que gracias a su suministro y actuación dentro del organismo y a las actividades biológicas, anticancerígenas, antienvjecimiento y antifatiga que presenta se vean compensadas una vez ingerido (**Liang et al., 2019**).

**Tsitsimpikou et al. (2013)** afirman que muchas empresas comerciales han implementado en el área de producción nuevas formulaciones a base de licopeno para el desarrollo de sus productos, un ejemplo claro de ello son algunas bebidas funcionales, bebidas fortificadas y bebidas deportivas. La función del licopeno en este tipo de bebidas es ayudar a contrarrestar la fatiga, inflamación y el estrés oxidativo causado después del ejercicio intensivo a corto plazo.

#### **1.1.6. Beneficios del licopeno**

##### **1.1.6.1. Estudios *in vitro***

Cuando se estudia al licopeno *in vitro*, se debe considerar la importancia de la estabilidad durante el ensayo (**Arballo et al., 2021**). Según **Bojórquez et al. (2013)** la regulación de los eventos inflamatorios e infecciosos se deben a la alteración que sufre el licopeno al oxidarse y fragmentarse en presencia de concentraciones elevadas de

ácido hipocloroso (HOCl). Esa fragmentación del licopeno da como resultado metabolitos que a la vez consumen múltiples moléculas de HOCl modulando su disponibilidad.

#### **1.1.6.2. Estudios en animales**

**Lorenz et al. (2012)** mencionan que el licopeno posee un efecto ateroprotector, al utilizar una suplementación de 5 mg/kg de peso de licopeno durante 4 semanas en un grupo de conejos. El licopeno disminuyó significativamente el colesterol total y colesterol-LDL en el suero en los conejos del grupo experimental en comparación con los del grupo control, al igual que las cantidades de esteres de colesterol en la aorta.

#### **1.1.6.3. Estudios en seres humanos**

En un estudio realizado por **Burton-Freeman, Talbot, Park, Krishnankutty, & Edirisinghe (2012)**, cuyo objetivo fue evaluar los efectos del consumo de tomate procesado en una comida rica en grasas sobre los marcadores postprandiales oxidativos y de inflamación en hombres y mujeres con peso saludable, se concluyó que 94 g de pasta de tomate lograba atenuar de manera significativa la oxidación postprandial de las LDL en los participantes del grupo experimental en comparación con el grupo control.

#### **1.1.7. Suplemento alimenticio**

Se ha demostrado que el licopeno además de encontrarse en el tomate siendo así la fuente principal de este compuesto, este se encuentra en forma de suplemento alimenticio, también conocidos como complementos nutricionales no convencionales, los mismos que son destinados para complementar la ingesta diaria mediante la incorporación de nutrientes en la dieta de personas sanas, en concentraciones que no generen indicaciones terapéuticas o sean aplicados a estados patológicos (**ARCSA, 2016**).

Además, son productos elaborados a base de extractos vegetales, hierbas, alimentos tradicionales, deshidratados o concentrados de frutas, con la adición o no de ingredientes que incluyen aminoácidos, vitaminas, enzimas. Son comercializados en diferentes presentaciones tales como tabletas, cápsulas de gel, polvos y líquidos (**Castellanos Jankiewicz A & Castellanos Ruelas A, 2020**).

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar los beneficios del consumo de licopeno como suplemento alimenticio.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Identificar las fuentes de licopeno disponible en alimentos sin procesar y procesados.
- Caracterizar el licopeno por sus propiedades estructurales, interacción con las matrices alimentarias y composición química.
- Establecer los beneficios del consumo de licopeno asociados a la salud.

## **CAPITULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2. Búsqueda de la información**

La información requerida fue adquirida de forma sistemática y estructurada, con el fin de recopilar, informar y analizar los estudios de investigación ya existentes y más relevantes al tema, bajo una lectura detallada se evaluó críticamente los datos obtenidos y resultados, demostrando así que el contenido presenta una perspectiva sólida de la revisión y que los documentos consultados, han sido reconocidos por los expertos antes de ser publicados, al mismo tiempo se trabajó con estudios en idioma inglés y español, de esta forma la selección y fuentes de información sirvieron como guía y orientación para responder a los objetivos del proyecto investigativo.

##### **2.1. Bases de datos de investigación científica**

El desarrollo de la investigación se realizó mediante la utilización de bases de datos de libre acceso, journals, e-books y tesis doctorales compilando información acorde a la temática de estudio. Además de ello, se empleó los recursos disponibles que ofrece la biblioteca virtual de la Universidad Técnica de Ambato para el aporte de la revisión. La contribución de páginas web como Science Direct, PubMed, Google Scholar y Google Book Search, ELSEVIER, Research Gate, SciELO ayudaron a obtener fuentes de información idóneas, de relativa importancia y representatividad, que aportan científicamente la investigación con referencia a los beneficios del consumo de licopeno como suplemento alimenticio.

##### **2.2. Organización de la información**

Una vez seleccionada y resumida la información proveniente sobre las fuentes, estructura, beneficios y términos relacionados al licopeno, los documentos fueron descargados en formato PDF y mediante el uso de los gestores bibliográficos Mendeley y Zotero se ordenaron las referencias bibliográficas en formato APA 6<sup>a</sup> edición, al ser una aplicación eficiente y de libre uso permitió organizar fácilmente la información.

### **2.3. Análisis de la información**

Se realizó un análisis minucioso de los artículos identificando las ideas principales, inferencias y conceptos claves, garantizando la obtención de la información más importante en el campo de estudio, a través de distintos formatos en los cuales se detalla al licopeno, sus métodos de extracción, composición química y las matrices alimentarias en donde lo podemos encontrar y en qué cantidades se presentan en los alimentos ya sean procesados o no procesados, valores descritos en tablas y figuras para una mejor apreciación e interpretación.

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3. Análisis y discusión de resultados

La producción a gran escala de licopeno natural inició en Israel a mediados de la década de los 90, cuando la empresa LycoRed empezó a extraer licopeno de tomates. La formulación consistía en una extracción de pequeños cristales de tomate, con un tamaño a 0.2-0.5  $\mu\text{m}$  con el fin de mejorar la formación de una dispersión homogénea en un medio hidrofílico como el glicerol, que es una sustancia GRAS (generalmente reconocida como segura) aprobada para su uso en alimentos y bebidas. El extracto es vendido a la industria alimentaria como colorante natural rojo/naranja turbio con dosis de 3-10 partes por millón (ppm) en bebidas y 10-30 partes por millón (ppm) en alimentos sólidos, al mismo tiempo como ingrediente para la formulación de alimentos funcionales ricos en antioxidantes (Figura 3) (Ciriminna, Fidalgo, Meneguzzo, Ilharco, & Pagliaro, 2016).



**Figura 3.** Extracto de suspensión estable de cristales de licopeno en glicerol. Tomat-O-Red 2% SG

**Fuente:** Ciriminna et al., (2016)

De acuerdo con **Fissan, Gore, Environmental, & Agency (2010)** el mundo gasta más de \$50 millones en licopeno, LycoRed se convirtió en el principal productor mundial, con una participación en el mercado del 88% en 2004, el consumo pasó de 5.000 toneladas en 1995 a 15.000 en 2004. Por otro lado, un informe de investigación de mercado revela que se alcanzó los 84 millones de dólares en el 2018, frente a los 66 millones de dólares en el 2010, considerando que el licopeno es un producto costoso

para el cuidado de la salud (**Ciriminna et al., 2016**). El licopeno natural es obtenido de cultivos de tomates selectos, resultando un procesamiento de alto costo, se ha implementado el uso de subproductos de residuos de tomate. El precio del licopeno está relacionado con su origen y su pureza, alcanzando \$6.000/kg según sea el caso (**Carmona, 2013**).

Hoy en día muchas empresas que extraen licopeno en todo el mundo y más allá del tomate sin procesar (crudo) el licopeno es extraído de manera ventajosa de subproductos del procesado de tomate, como semillas, pulpa y piel (**Fernández, 2022**); a partir de esto muchos sectores industriales en diferentes países han incorporado instalaciones de procesamiento de este antioxidante natural. De manera similar **Ciriminna et al. (2016)** detallan cuales son los proveedores importantes y su estrategia de contribución en el mercado: la extracción de licopeno sintético es realizado por DMS el cual tiene una colaboración en el mercado mundial del 71%, mientras que BASF presenta alrededor del 20 %, además de ello este pequeño pero creciente segmento de la industria se evidencia en compañías multinacionales como Parry Nutraceuticals and Perennial Lifesciences (India), Lycotec (Reino Unido), Pierre (Italia) y Xi'an Miracle Biotechnology and Farmacéutica del Norte de China (China).

### **3.1.Fuentes de licopeno naturales**

En la actualidad los consumidores demandan no solo que los alimentos sean seguros, sino que contengan compuestos funcionales que puedan prevenir o ayudar a contrarrestar algún tipo de enfermedad (**Calvo, 2015**), un ejemplo de ello son los carotenoides y dentro de este grupo se encuentra el licopeno siendo el tomate la fuente natural mayoritaria.

El tomate es un importante contribuyente de licopeno y también fuente considerable de vitaminas K, A, C, fibra y carbohidratos, además de algunas cantidades de hierro, potasio, fósforo y azufre, contiene bajo contenido de sodio, grasas y calorías (**Khan et al., 2021**). Según **Cadillo, Alanís, & Olague (2006)** existen cientos de variedades de tomate con distintas formas, tamaños e incluso colores, una variable relevante es el estado de madurez, ya que implica cambios morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares afectando el contenido de licopeno valores especificados en la Tabla 1.

En las Tablas 2 y 3 se detallan las fuentes de licopeno y la concentración de licopeno en productos de tomate frescos y procesados. El contenido de licopeno varía significativamente en los tomates y en alimentos sin procesar, ya que existen factores a priori que repercuten en el contenido del mismo como: suelo, formas de cultivo, grado de madurez, condiciones estacionales, además de considerar el almacenamiento postcosecha (Domínguez, Gutiérrez, Vergara, & Ríos-Castillo, 2020). Según Ciriminna, Fidalgo, Meneguzzo, Ilharco, & Pagliaro (2016) mencionan que es mejor la producción a campo abierto durante el verano, debido a que aumenta el contenido de licopeno a comparación de los tomates que son cultivados en invernadero; así como también las variedades de tomate que muestren un color rojo más intenso y con un alto contenido de sustancias insolubles presentan cantidades más elevadas de este carotenoide, ya que del total de licopeno comprendido en el tomate se encuentra en la pulpa y piel de un 72 al 92% (Periago et al., 2015).

**Tabla 1.** *Contenido de licopeno en diferentes variedades de tomate*

<b>Variedades</b>	<b>mg/kg</b>
Pera	63.37
Canario	49.44
Durina	64.98
Remalte	42.96
Daniella	36.32
Senior	32.24
Rambo	31.97
Ramillete	31.49
Liso	18.60

**Fuente:** Tomado de Gámez, (2017)

**Tabla 2.** *Contenido de licopeno en alimentos sin procesar*

<b>Alimento</b>	<b>mg/100 g</b>
Tomate	0.88-7.74
Sandía	2.3-7.2
Pomelo	3.3
Calabaza	3.8 – 4.6
Zanahoria	0.7

Albaricoque	0.01-0.05
Papaya	0.11-5.3
Guayaba	0.8-1.8

**Fuente:** Tomado de **Tigcilema et al., (2020)**

**Waliszewski & Blasco (2010)** reporta que el contenido de licopeno en toda la fruta es mayor a 9.27 mg/100 g, alimentos con variedades rojas abarcan más de 15 mg/100 g, mientras que variedades amarillas contienen sólo cerca de 0.5 mg/100 g.

**Tabla 3.** *Contenido de licopeno en alimentos procesados*

<b>Alimento</b>	<b>mg/100 g</b>
Kétchup	1.9-26.2
Zumo de tomate	7.1
Puré de tomate	27.3
Pasta de tomate	30.07
Pulpa de tomate	28.6
Salsa de spaghetti	17.50
Salsa de pizza	12.71
Salsa de tomate	26.1
Sopa de tomate	3.99

**Fuente:** Tomado de **(Periago et al., 2015; Tigcilema et al., 2020)**

Las fuentes alimenticias procesadas que son una fuente rica de licopeno son la pasta de tomate con 30.07 mg/100 g, seguida de pulpa de tomate, salsa de tomate, puré de tomate y kétchup, generalmente los productos procesados derivados del tomate tienen una notable influencia en la biodisponibilidad de licopeno debido a que operaciones como el triturado, cocción, pasteurización o secado repercuten en la forma natural del carotenoide (**Martínez-Hernández et al., 2016**).

De los productos derivados del tomate, la pulpa y la pasta son la mayor fuente de licopeno. La pasta de tomate se obtiene retirando la piel y las semillas de los tomates maduros, aplicando un proceso de cocción durante unas horas, el concentrado espeso resultante es pasta de tomate. En cambio, la pulpa de tomate es una forma sin procesar. Los tomates frescos se prensan a través de la máquina de masa; y luego; las

semillas y la piel se separan y finalmente se obtiene la pulpa de tomate (**Khan et al., 2021**).

### **3.2. Proceso térmico sobre el contenido de licopeno**

En la industria alimentaria el procesamiento térmico es utilizado para conservar los productos alimenticios y mantener su calidad nutricional. Tradicionalmente, el secado al sol es la técnica más empleada y económicamente viable, comúnmente utilizada en países pobres y en pequeñas y medianas industrias para la preservación de alimentos. Sin embargo, los procesos térmicos presentan desventajas ya que aumentan la destrucción del licopeno, siendo la temperatura un factor importante de estudio (**Kong et al., 2010**). El licopeno es sensible al calor y este compuesto se degrada (**Ciriminna et al., 2016**). **Chang, Lin, Chang, & Liu (2006)** han demostrado que existe un método alternativo como el secado con aire caliente tras someter a 80°C durante las primeras 2 horas más el cambio de la temperatura de secado a 60°C durante otras 6 horas, estas condiciones producen un mayor contenido de licopeno en comparación con las muestras frescas o liofilizadas, corroborando que el procesamiento térmico mejora la isomerización del licopeno y aumenta la capacidad de extracción del licopeno, al romper las paredes celulares y debilitar la interacción entre el licopeno y la matriz tisular de las muestras.

El contenido de humedad está estrechamente relacionado con la degradación del licopeno. Cuando se retiene la humedad, los compuestos solubles en agua reaccionan como catalizadores durante la degradación del licopeno (**Varas, 2017**). Según **Goula, Adamopoulos, Chatzidakis, & Nikas (2006)** mencionan que la degradación del licopeno en la pulpa de tomate se reduce cuando el contenido de humedad disminuye del 95 % al 55 %, con una tasa de degradación mínima entre el 50 y el 55 % del contenido de humedad.

### **3.3. Tecnologías de extracción y purificación del licopeno**

El licopeno exhibe una elevada actividad bioquímica y fisiológica, por lo que su extracción y purificación es delicada y de suma importancia para el desarrollo de productos a base de este carotenoide. Tras existir muchos métodos para extraer el licopeno natural, resulta difícil disminuir la reacción de degradación, isomerización y el costo, al ser sintetizado químicamente contiene varias impurezas e isómeros, debido a esto su aplicación es limitada (**Liang et al., 2019**).

En la industria alimentaria, las técnicas generalmente utilizadas incluyen la extracción por solventes orgánicos, hidrólisis enzimática, asistida por ultrasonido, asistida por microondas, fluido supercrítico y extracción asistida de campo eléctrico pulsado de alto voltaje, donde el principio, ventajas, desventajas de los diferentes métodos además de la cantidad y rendimiento que se extrae del licopeno son detallados en la Tabla 4.

#### **3.4.Subproductos ricos en licopeno**

La industrialización del tomate origina gran cantidad de residuos sin valor económico que contienen compuestos bioactivos (**Flores et al., 2021**). Los subproductos obtenidos durante el procesamiento del tomate son principalmente la piel, semillas y cáscara. El orujo húmedo contiene 33% semilla, 27% piel y 40% pulpa, mientras que el orujo seco contiene 44% semilla y 56% pulpa y piel, es una mezcla de cáscaras de tomate, semillas trituradas y enteras. Además de una pequeña cantidad de pulpa que queda después del procesamiento de tomates para jugo, pasta y/o ketchup (**Viuda-Martos et al., 2014**).

**Tabla 4.** Principales métodos de extracción y purificación del licopeno

Métodos de extracción	Principio	Ventajas	Desventajas	Cantidad de Licopeno	Rendimiento	Referencia
<b>Solventes orgánicos</b>	Alta solubilidad de licopeno bajo diferentes solventes orgánicos, los reactivos que más se emplean son: hexano, acetona, etanol y acetato de etilo de grado comercial. Extracción de piel y semillas de tomate pera.	Operación fácil y simple industrialización, bajo costo del equipo.	Tiempo largo de extracción, la cantidad de solvente es alta y difícil de recuperar, considerar que presentan riesgos de seguridad.	243.00 mg / kg 34.45 mg / kg 46.21 mg / kg 51.90 mg / kg 17.57 mg / kg	30.41% 4.31% 5.78% 6.50% 2.20%	(Cardona, Rios, & Restrepo, 2010; Liang et al., 2019; Tigilema et al., 2020)
<b>Hidrólisis enzimática</b>	Se requiere de enzimas específicas para destruir o degradar las glicoproteínas, celulosa y pectina endógena.	Las condiciones de extracción son favorables ya que ayudan a mantener la actividad del licopeno y mejorar la pureza del producto.	Las preparaciones de las enzimas industriales son costosas.	409.68 ± 0.68 mg / kg	43.81%	(Catalkaya & Kahveci, 2019)
<b>Extracción asistida por ultrasonido (UAE)</b>	Se basa en la cavitación que genera alterando las células vegetales, bajo efectos	Alta capacidad con sustancias de bajo peso, compuestos	La isomerización del licopeno se ve promovida por el efecto de	89.90 mg / kg	9.61%	(Amiri-Rigi, Abbasi, & Scanlon, 2016; Kumcuoglu,

	térmicos y mecánicos, mejorando la transferencia de masa de manera que el material intracelular esté disponible. Extracción de piel y semillas de tomate manzano.	funcionales y bioactivos. Bajo consumo de energía, elevada eficiencia, maximiza el rendimiento y reduce el tiempo del proceso.	cavitación. Los equipos se encuentran a nivel de laboratorio y no industrializado.			<b>Yilmaz, &amp; Tavman, 2014; Liang et al., 2019)</b>
<b>Extracción asistida por microondas (MAE)</b>	Induce a un rápido calentamiento principalmente en sustancias compuestas de moléculas polares, generando una gran cantidad de energía térmica lo que provoca la ruptura de las células. El reactivo que utiliza es el acetato de etilo donde el material de extracción es la cáscara de tomate pera.	El consumo de solvente es menor y presenta una alta eficiencia y tasa de extracción.	El efecto de la temperatura en los microondas es selectivo sobre las sustancias polares, de manera que requiere de una constante dieléctrica pequeña.	135.92 mg / kg	17.01%	<b>(Ho, Ferruzzi, Liceaga, &amp; San Martín-González, 2015).</b>
<b>Fluido supercrítico</b>	Presenta propiedades híbridas entre un	Alta eficiencia, rendimiento,	Una caída de presión implica	728.98±31.17mg/kg	91.24%	<b>(Gámez, 2017; Liang et al.,</b>

	<p>líquido y un gas, posee una importante capacidad para disolver solutos, miscibilidad con gases permanentes. El fluido debe encontrarse en condiciones de presión y temperatura superiores a su punto crítico, de manera que permitan una adecuada solubilización del licopeno. Los fluidos supercríticos utilizados son: dióxido de carbono, etano, etileno, propileno y clorotrifluorometano.</p>	<p>difusividad y una disminución de la densidad del fluido supercrítico y, por tanto, una reducción en la capacidad de extracción. radicalmente sin dejar traza en el concentrado. La obtención de los productos tras la utilización de esta tecnología favorece la absorción de licopeno en el tractointestinal.</p>				<p>2019; Tigcilema et al., 2020)</p>
<p><b>Extracción asistida de campo eléctrico pulsado de alto voltaje</b></p>	<p>Destruye la pared celular a través del efecto multietapa accionado por el campo eléctrico pulsado.</p>	<p>La tasa de extracción puede alcanzar un alto valor en un solo ensayo, a comparación del</p>	<p>El mecanismo y la estabilidad del licopeno necesita más estudio de análisis.</p>	<p>230.00 mg / kg</p>	<p>27.87%</p>	<p>(Bagué &amp; Álvarez, 2017; Liang et al., 2019)</p>

---

método del  
disolvente  
orgánico  
convencional.  
Mantiene  
efectivamente el  
contenido de  
licopeno en la  
materia prima.

---

Otro método según **Gámez (2017)** es la cuantificación realizada tradicionalmente por espectrofotometría y colorimetría, ya que proporcionan una rápida evaluación del contenido de licopeno, a partir de la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), en el que se obtienen resultados que permiten observar una mayor versatilidad, sensibilidad y selectividad de las muestras.

**Periago et al. (2015)** consideran que no solo los factores físicos y químicos afectan el contenido de licopeno, existen otros que hay que tomar en cuenta a la hora de extraer este carotenoide, como el almacenamiento y la manipulación de las muestras, vinculado a esto el análisis tiene que desarrollarse de tal manera que se minimice la degradación oxidativa y se evite la aparición de isómeros no presentes de forma natural.

**Liang et al. (2019)** mencionan que para mejorar la eficiencia de los diferentes métodos de extracción parte de las excelentes ventajas que presentan y que al combinarse las tecnologías propuestas ayudarán a promover el desarrollo y la producción industrial.

El uso de métodos eléctricos para extraer licopeno se ha aplicado con éxito, con la ventaja de promover una extracción selectiva y mejorar la biodisponibilidad del carotenoide. Aunque aún se desconocen los efectos de los procesos eléctricos sobre ellos, la aplicación de voltajes bajos podría reducir el riesgo de daño en sus estructuras (**Pataro, Carullo, Falcone, & Ferrari, 2020**).

### **3.5. Absorción digestiva, metabolismo y transporte de licopeno**

#### **3.5.1. Absorción y digestión de licopeno**

Es importante conocer los componentes y mecanismos por los cuales este carotenoide se incorpora a los tejidos para lograr su efecto *in vivo*, ya que no solo depende de su localización a nivel orgánico, sino que deberá mantener una concentración relativa al agente oxidante para beneficiarse del efecto protector (**Periago et al., 2015**). Actualmente, la absorción digestiva del licopeno se estudia especialmente en experimentos con animales *in vivo* y a través de modelos de digestión *in vitro* (**Lin, Liang, Williams, & Zhong, 2018**). Por consiguiente, la naturaleza del cuerpo humano provoca la isomerización del licopeno a lo largo del tracto gastrointestinal (**Kong et al., 2010**). Según **Richelle et al. (2010)** señalan que el 60% de los isómeros de licopeno *cis* se encuentran en el plasma humano, el sitio clave de la isomerización es

localizado dentro de las células intestinales, lo que da como resultado el 29 % del licopeno como isómeros *cis*.

En efecto, un estudio *in vivo* realizado por **Re, Fraser, Long, Bramley, & Rice-Evans (2010)** manifiestan que la condición ácida en el medio gástrico mejorará la isomerización del licopeno *all-trans* a *cis*, implicación que ayudará a una mayor absorción de licopeno una vez que este llegue al intestino delgado. Además, el pH, así como la matriz alimentaria, influyen en el nivel de isomerización de este carotenoide. Las condiciones fisiológicas y bioquímicas del licopeno en el cuerpo humano consisten principalmente en tres etapas que son: cavidad oral, estómago e intestino delgado (**Liang et al., 2019**).

Según **Arballo et al. (2021)** durante el proceso de digestión del licopeno la masticación y el peristaltismo, son fundamentales para la biodisponibilidad de este componente, debido a la interrupción mecánica de los alimentos que liberan el antioxidante de la matriz alimentaria. La absorción implica la transferencia del licopeno de la matriz alimentaria a las micelas, la captación por enterocitos (células más abundantes del epitelio intestinal), el transporte de lípidos a través de quilomicrones y finalmente la secreción al plasma.

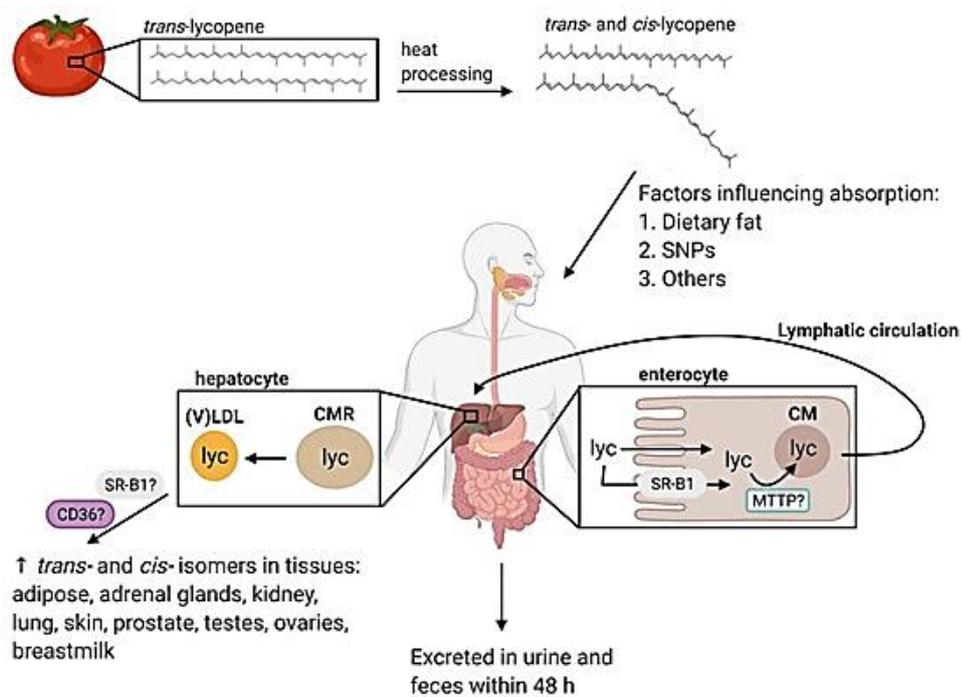
Varios factores afectan la absorción del licopeno en la dieta, dos de ellos es la presencia de aceite y fibra dietética. La función del primero es facilitar un efecto positivo a través de la absorción, mientras que la fibra interviene al interaccionar con los ácidos biliares lo que favorece la eliminación de los mismos y reduce la absorción del carotenoide (**Periago et al., 2015**).

**Cervantes-Paz et al. (2017)** aseveran que el licopeno puede internalizarse en las gotas de lípidos y expandirse en el intestino delgado, donde las enzimas y los ácidos biliares continúan con la descomposición de la matriz.

Asimismo, **Wang (2012)** menciona que una vez que se ha digerido la matriz alimentaria el licopeno se incorpora a las micelas lipídicas y es absorbido por los enterocitos mediante difusión pasiva y por la acción del receptor scavenger clase B tipo 1 (SR-B1), su función radica en ser el responsable de transportar el licopeno desde la lipoproteína a los tejidos y desde los tejidos a las lipoproteínas. Los tejidos absorben el licopeno de las lipoproteínas al accionar con ciertas proteínas de membrana como

SR-B1 y CD36, en su interior, el licopeno se empaqueta en quilomicrones en forma intacta y se transporta al sistema linfático, por lo tanto ingresa a la sangre y órganos (Liang et al., 2019). Según Gámez (2017) destaca que este transporte se ejecuta en primer lugar por los quilomicrones y la fracción VLDL (Very Low Density Lipoprotein) y posteriormente por las lipoproteínas LDL (Low Density Lipoprotein) con picos séricos máximos de ingestión de 24 a 48 horas.

El licopeno se almacena en el hígado, pero se puede encontrar en otros órganos, incluido el tejido adiposo, riñones, pulmones, piel, ovarios, testículos, próstata y glándulas mamarias (Figura 4) (Arballo et al., 2021).



**Figura 4.** Mecanismo de digestión y absorción del licopeno en el tracto gastrointestinal humano

**Fuente:** Arballo et al., (2021)

### 3.5.2. Influencia de la composición de la matriz alimentaria en la biodisponibilidad del licopeno

La grasa dietética mejora la absorción del licopeno, generando un interés entre la interacción de este carotenoide y el contenido de grasa en las comidas (Arballo et al., 2021), por esta razón, Goltz, Campbell, Chitchumroonchokchai, Failla, & Ferruzzi (2012) evalúan a 29 voluntarios humanos para conocer si las fuentes de grasa en la

dieta logran modificar la absorción del licopeno, las muestras de fuentes ricas en grasa son: aceite de canola y aceite de soja en cantidades de 20 y 3 g respectivamente, en una comida que contenía 5 mg del carotenoide, evidenciaron que la mayor dosis de grasa se obtuvo del aceite de canola y que variar las fuentes no altera la absorción del antioxidante, ya que no encontraron diferencias significativas a partir de 3 g de grasa, es así que solo la cantidad de lípidos ingeridos aumenta la absorción del licopeno.

En consecuencia, según **Lee, Thurnham, & Chopra (2010)** mencionan que el consumo de una cantidad mínima de grasa provoca un aumento de la absorción de licopeno para diferentes matrices alimentarias.

La evaluación de estos y otros estudios aluden que la absorción óptima de licopeno requiere un mínimo de 10 g de grasa en una comida que contenga productos de tomate procesado, mientras que 15 g (poco más de 1 cucharada) se requerirían para alimentos sin procesar como ensaladas o tomates crudos (**White et al., 2017**).

### **3.5.3. Transporte y metabolismo**

El licopeno como es un compuesto hidrofóbico se encuentra en la parte lipofílica de las lipoproteínas y es propenso a acumularse en los compartimientos lipofílicos de la membrana o de la lipoproteína, mientras que los carotenoides polares se sitúan en la superficie de las lipoproteínas. Por lo tanto, el licopeno es transportado principalmente por lipoproteínas de baja densidad (LDL), mientras que los otros tipos carotenoides son transportados por lipoproteínas de baja y alta densidad (LDL – HDL) (**Kong et al., 2010**).

### **3.6. Implicaciones del licopeno en el organismo**

El estudio de las implicaciones del licopeno en la salud experimenta cambios y un crecimiento substancial en los últimos años como consecuencia de la gran capacidad de actuar como agente antioxidante, al secuestrar eficientemente las formas reactivas de oxígeno (**Periago et al., 2015**).

**Porrini et al. (2014)** señalan que el comportamiento alimentario de las personas en cada país varía con los niveles de licopeno según el género masculino o femenino Tabla 5, las concentraciones del licopeno en los tejidos humanos son de alrededor de 0,15 a 21,36 nmol/g de tejido. Los niveles plasmáticos oscilan entre 500 a 900 nmol/L (**Periago et al., 2015**). De manera similar **Böhm et al. (2021)** aseveran estos valores

con el estudio de ingesta de 60 g de puré de tomate, es decir, 17 mg de licopeno durante 3 semanas, evidenciando que existe un aumento en la concentración plasmática de licopeno a 500 nmol/L, mientras que 25 g del mismo producto durante 2 semanas produjo un aumento de 400 nmol/L, por lo cual enfatiza que las concentraciones plasmáticas de licopeno no responden de manera lineal en función de la dosis y que cantidades bajas de una fuente biodisponible son suficientes para mejorar y mantener los niveles plasmáticos.

**Tabla 5.** Niveles de licopeno en plasma de personas de diferentes países

País	Niveles de licopeno en plasma (µmol/L)	
	Masculino	Femenino
Reino Unido	-	0.32 ± 0.12
Estados Unidos	0.82 ± 0.38	0.76 ± 0.32
Francia	0.66 (0.18-1.47)	0.66 (0.31-2.06)
España	0.53 (0.21-1.16)	0.51 (0.07-1.72)
Italia	1.03 ± 0.43	0.90 ± 0.37
Japón	0.11 (0.04-0.33)	0.20 (0.08-0.52)
Tailandia	0.46 ± 0.33	0.74 ± 0.38

**Fuente:** Tomado de (Kong et al., 2010; Porrini et al., 2014)

### 3.7. Ingesta y beneficios del licopeno

El impacto positivo en la salud y fisiología humana que presenta la ingesta y beneficios del licopeno se ven corroborados en informes de investigación que abogan por su consumo. La función biológica primordial del licopeno es la protección del ADN contra el estrés oxidativo, protegiendo el sistema celular de las especies reactivas de oxígeno (ROS) e inhibiendo las mutaciones que pueden causar enfermedades crónicas (Bin-Jumah et al., 2022).

Los seres humanos se benefician de licopeno de varias maneras, una dieta rica en este antioxidante es una de ellas, cada vez existen más estudios epidemiológicos que sugieren que su consumo previene el riesgo de enfermedades cardiovasculares (ECV), cáncer y otras patologías como se describe en la Tabla 6. Según Aust et al. (2010) manifiestan que el consumo promedio de la ingesta de licopeno es de 5 a 7 mg/día, lo que corresponde a 50 g de productos de tomate aproximadamente, cantidades que serán suficientes para obtener su aprovechamiento, dosis más altas de este carotenoide se pueden administrar en caso de cáncer o enfermedad cardiovascular 35–75 mg/día.

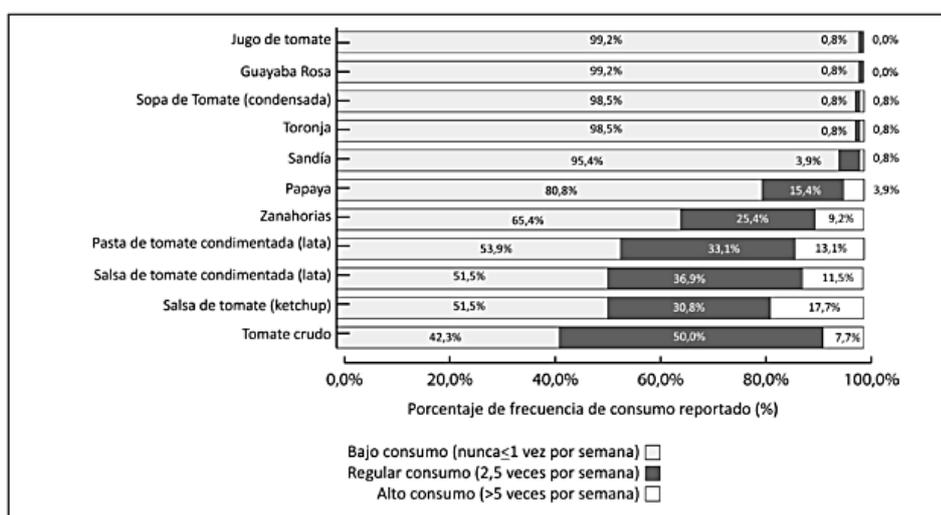
De acuerdo con **Torresani, Oliva, Echevarría, & Rossi (2006)** mencionan que la relación de 7 a 10 porciones por semana de alimentos ricos en licopeno su ingesta equivale de 30 a 60 mg/día. De manera similar otros autores sugieren una ingesta de 4 mg/día no excediendo los 10 mg/día (**Rao et al., 2018**).

**Tabla 6.** *Relación del licopeno contra enfermedades*

<b>Enfermedades</b>	<b>Dosis de licopeno</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Función del licopeno</b>	
	Melanoma	15 mg/día	5-12 semanas	Inhibe el desarrollo del melanoma.
	Cáncer de próstata y colon	10–30 mg/día	3 a 5 días	Inhibir la señalización de Ras.
	Cáncer de ovarios	20–40 mg/kg	18 semanas	La regulación a la baja de STAT3 reduce el desarrollo de tumores.
<b>Cáncer</b>	Apoptosis	10, 40, 120 mg/kg	9 semanas	Desencadena la apoptosis en las células.
	Cáncer de mama y endometrio	76 mg/día	14 días	El licopeno inhibe la vía de señalización del factor de crecimiento similar a la insulina 1 (IGF-1R).
<b>Enfermedades cardiovasculares</b>		2 mg/día	12-20 semanas	Reduce las placas ateroscleróticas.
<b>Diabetes</b>		10 mg/día	5 semanas	Enzimas antioxidantes mejoradas, suprime la expresión de RAGE, aumenta la expresión de NF-B.
<b>Enfermedades de los huesos</b>		50 mg/día	10 semanas	Regulación del metabolismo, diferenciación de osteoclastos, regulación al alza de osteoblastos.
<b>Esterilidad</b>		4–8 mg/día	3–12 meses	Antioxidantes potenciados, reducción de la peroxidación de

Fuente: Tomado de **Bin-Jumah et al., (2022)**

El estudio de investigación realizado por **Domínguez et al. (2020)** demuestran la relación entre el consumo de licopeno y los rangos de ingesta diaria dietética, en hombres y mujeres entre 18 y 70 años, mediante la aplicación de una encuesta y bajo un análisis estadístico a la población de América Central específicamente Panamá, la frecuencia de consumo fue estimada en 11 alimentos y solo 4 de ellos mantienen un consumo frecuente de “2 a 3 veces por semana”, observaron que un elevado consumo proviene de alimentos procesados derivados del tomate como la salsa 36,9%, seguido de la pasta 33,1% y por último el ketchup 30%, dentro de los alimentos sin procesar reportaron a los tomates crudos en un 50%, valores representados en la (Figura 5), el hallazgo indica que la ingesta revela rangos de 6,49 mg/día.



**Figura 5.** Frecuencia de consumo de alimentos fuentes de licopeno

Fuente: **Domínguez et al., (2020)**

Los resultados del análisis de la ingesta descrito anteriormente son similares a estudios realizados en Estados Unidos, en este país el consumo de alimentos ricos en licopeno proviene más del 80% de productos de tomate procesados, los rangos varían conforme al sexo 6,6 a 10,5 mg/día para los hombres y de 5,7 a 10,4 mg/día para las mujeres (**Story, Kopec, Schwartz, & Keith Harris, 2010**). En comparación con Europa la ingesta promedio de licopeno difiere para países como Italia (7,4 mg/día) donde este

constituye la mayor proporción de carotenoides en la dieta italiana, Francia (4,8 mg/día), España (1,6 mg/día) y Reino Unido (1,1 mg/día) **(Bojórquez et al., 2013)**.

Los beneficios atribuidos a la ingesta de licopeno derivan a que investigadores biológicos y biomédicos se están interesando cada vez más en las propiedades y actividades biológicas que presenta este antioxidante frente a dolencias y enfermedades **(Durairajanayagam, Agarwal, Ong, & Prashast, 2014)**. El licopeno plasmático tiene una vida media de 12 a 33 días en el cuerpo humano **(Bin-Jumah et al., 2022)**.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES

- El licopeno es un compuesto funcional y su consumo en forma de tomates frescos y sus derivados como en suplementos trae consigo efectos positivos en la reducción de la aparición de enfermedades, una vida saludable en todas sus esferas (física, mental y social) será la mejor inversión a corto y largo plazo.
- Las fuentes alimenticias de este principal carotenoide incluyen una variedad de frutas y verduras, aunque las más relevantes fuentes de licopeno son el tomate y derivados.
- Los estudios muestran que hay varios factores que pueden interferir sobre la biodisponibilidad del licopeno, como la absorción intestinal, la cantidad presente en la fuente de alimento, procesamiento aplicado, presencia de la matriz alimentaria y de otros nutrientes en la comida (grasa, fibra, etc), conjuntamente del entorno biológico en el que actúa y el estado nutricional del individuo.
- El efecto beneficioso del licopeno se basa en la posible prevención de enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de cáncer como: próstata, colon, mama, entre otros, es el compuesto con más propiedades funcionales que, además de estar presente en el alimento tiene que estar bioaccesible en el intestino para poder ser absorbido por las células del mismo y de tal manera ejercer su efecto beneficioso.

## RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas *in vitro* que evalúen los beneficios del licopeno en la salud, su disponibilidad y los principales factores determinantes que afectan la isomerización de este antioxidante.
- En las diferentes técnicas de extracción de licopeno propuestas, se recomienda utilizar la piel del tomate para aumentar el contenido y rendimiento del caroteno una vez extraído.
- Efectuar tratamientos postcosecha a los tomates bajo la evaluación del estado de madurez con el objetivo de aumentar el contenido de licopeno y prolongar su vida útil, lo que permitirá brindar alimentos con alta calidad nutricional que aporten a la salud.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amiri-Rigi, A., Abbasi, S., & Scanlon, M. G. (2016). Enhanced lycopene extraction from tomato industrial waste using microemulsion technique: Optimization of enzymatic and ultrasound pre-treatments. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *35*, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.05.004>
- Arballo, J., Amengual, J., & Erdman, J. W. (2021). Lycopene: A critical review of digestion, absorption, metabolism, and excretion. *Antioxidants*, *10*(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/antiox10030342>
- ARCSA. (2016). Normativa Sanitaria Para Control De Suplementos Alimenticios, 1–20. Retrieved from [https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/02/Resolución\\_ARCSA-DE-028-2016-YMIH\\_NTS\\_SUPLEMENTOS\\_ALIMENTICIOS.pdf](https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/02/Resolución_ARCSA-DE-028-2016-YMIH_NTS_SUPLEMENTOS_ALIMENTICIOS.pdf)
- Aust, O., Ale-Agha, N., Zhang, L., Wollersen, H., Sies, H., & Stahl, W. (2010). Lycopene oxidation product enhances gap junctional communication. *Food and Chemical Toxicology*, *41*(10), 1399–1407. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(03\)00148-0](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(03)00148-0)
- Bagué, A., & Álvarez, N. (2017). Extracción asistida de campos electricos pulsados del licopeno en residuos de tomate. *Tecnología y Métodos Químicos*, (February), 173–188.
- Bin-Jumah, M. N., Nadeem, M. S., Gilani, S. J., Mubeen, B., Ullah, I., Alzarea, S. I., ... Kazmi, I. (2022). Lycopene: A Natural Arsenal in the War against Oxidative Stress and Cardiovascular Diseases. *Antioxidants*, *11*(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/antiox11020232>
- Böhm, V., Lietz, G., Olmedilla-Alonso, B., Phelan, D., Reboul, E., Bánati, D., ... Bohn, T. (2021). From carotenoid intake to carotenoid blood and tissue concentrations-implications for dietary intake recommendations. *Nutrition Reviews*, *79*(5), 544–573. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa008>

- Bojórquez, R. M. C., Gallego, J. G., & Collado, P. S. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. *Nutricion Hospitalaria*, 28(1), 6–15. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.1.6302>
- Burton-Freeman, B., Talbot, J., Park, E., Krishnankutty, S., & Edirisinghe, I. (2012). Protective activity of processed tomato products on postprandial oxidation and inflammation: A clinical trial in healthy weight men and women. *Molecular Nutrition and Food Research*, 56(4), 622–631. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100649>
- Cadillo, M. G., Alanís, M., & Olague, F. (2006). CUANTIFICACIÓN DE LICOPENO Y OTROS CAROTENOIDES EN TOMATE Y POLVO DE TOMATE. *Revista Mexicana de Agronegocio*.
- Calvo, M. (2015). Productos cárnicos. Influencia de la adición de productos y subproductos del tomate en sus propiedades fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*.
- Carbonell-Capella, J. M., Buniowska, M., Barba, F. J., Esteve, M. J., & Frígola, A. (2014). Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(2), 155–171. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12049>
- Cardona, E., Rios, L., & Restrepo, G. (2010). EXTRACCIÓN DEL CAROTENOIDE LICOPENO DEL TOMATE CHONTO (*Lycopersicum esculentum*). *Vitae, Revista De La Facultad De Química Farmacéutica*, 13(2), 44–53.
- Carmona, I. (2013). Utilización de los residuos de la industria del tomate para la obtención de compuestos bioactivos. Reporte N°7., 1–4.
- Castellanos Jankiewicz A, & Castellanos Ruelas A. (2020). Suplementos alimenticios: entre la necesidad y el consumismo. *Ciencia*, 71(3), i7–i12. Retrieved from [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/X2\\_71\\_3\\_1305\\_SuplementosAlimenticios.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/X2_71_3_1305_SuplementosAlimenticios.pdf)

- Catalkaya, G., & Kahveci, D. (2019). Optimization of enzyme assisted extraction of lycopene from industrial tomato waste. *Separation and Purification Technology*, 219(December 2018), 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.03.006>
- Cervantes-Paz, B., Ornelas-Paz, J. de J., Ruiz-Cruz, S., Rios-Velasco, C., Ibarra-Junquera, V., Yahia, E. M., & Gardea-Béjar, A. A. (2017). Effects of pectin on lipid digestion and possible implications for carotenoid bioavailability during pre-absorptive stages: A review. *Food Research International*, 99, 917–927. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.02.012>
- Chang, C. H., Lin, H. Y., Chang, C. Y., & Liu, Y. C. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 77(3), 478–485. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.061>
- Ciriminna, R., Fidalgo, A., Meneguzzo, F., Ilharco, L. M., & Pagliaro, M. (2016). Lycopene: Emerging Production Methods and Applications of a Valued Carotenoid. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(3), 643–650. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b01516>
- Desmarchelier, C., & Borel, P. (2017). Overview of carotenoid bioavailability determinants: From dietary factors to host genetic variations. *Trends in Food Science and Technology*, 69, 270–280. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.002>
- Domínguez, Y. D. C., Gutiérrez, M. C., Vergara, E., & Ríos-Castillo, I. (2020). Lycopene consumption related to a high consumption of ultra-processed foods derived from tomatoes among panamanian adult males. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(4), 588–596. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000400588>
- Durairajanayagam, D., Agarwal, A., Ong, C., & Prashast, P. (2014). Lycopene and male infertility. *Asian Journal of Andrology*, 16(3), 420–425. <https://doi.org/10.4103/1008-682X.126384>
- Fernández, M. M. (2022). PRODUCTOS, EXTRACTOS Y SUBPRODUCTOS DEL TOMATE COMO NUEVOS INGREDIENTES ALIMENTARIOS. *Investigación, V. De Universidad Complutense de Madrid Universidad*

*Complutense de Madrid Vicerrectorado de Investigación y Transferencia*, Pp. 7–8. Available at: <https://www.ucm.es/Otri/Complutransfer-Productos-Extractos-y-Subproductos-Del-Toma>, 7–8. Retrieved from <https://www.ucm.es/otri/complutransfer-productos-extractos-y-subproductos-del-tomate-como-nuevos-ingredientes-alimentarios>

Fissan, P. H., Gore, W. L., Environmental, U. S., & Agency, P. (2010). El mundo gasta más de \$50 millones en rojo de licopeno. *Focus on Pigments*, (April), 3–4.

Flores, C., Ordóñez, A., Balanza, M. E., Morant, A., Bocci, D., & Ciencias, F. De. (2021). Factibilidad de recuperación de principios bioactivos a partir de residuos de la industrialización de tomate, 1–5. Retrieved from file:///C:/Users/Edwin Lopez/Downloads/Factibilidad+de+recuperación+de+principios+bioactivos+a+partir+de+residuos+de+la+industrialización+de+tomate. (2).pdf

Gámez, M. del C. L. (2017). Aprovechamiento de derivados de tomate, como fuente de licopeno, en productos cárnicos tradicionales y tratados con radiaciones ionizantes, 240. Retrieved from <http://eprints.ucm.es/45731/1/T39449.pdf>

Goltz, S. R., Campbell, W. W., Chitchumroonchokchai, C., Failla, M. L., & Ferruzzi, M. G. (2012). Meal triacylglycerol profile modulates postprandial absorption of carotenoids in humans. *Molecular Nutrition and Food Research*, 56(6), 866–877. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100687>

Gonzalvez, A. G., Martin, D., Slowing, K., & Gonzalez Ureña, A. (2014). Insights into the  $\beta$ -carotene distribution in carrot roots. *Food Structure*, 2(1–2), 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2014.09.001>

Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., Chatzitakis, P. C., & Nikas, V. A. (2006). Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, 74(1), 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.02.023>

Ho, K. K. H. Y., Ferruzzi, M. G., Liceaga, A. M., & San Martín-González, M. F. (2015). Microwave-assisted extraction of lycopene in tomato peels: Effect of extraction conditions on all-trans and cis-isomer yields. *Lwt*, 62(1), 160–168.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.061>

- Khan, U. M., Sevindik, M., Zarrabi, A., Nami, M., Ozdemir, B., Kaplan, D. N., ... Sharifi-Rad, J. (2021). Lycopene: Food Sources, Biological Activities, and Human Health Benefits. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2713511>
- Kong, K. W., Khoo, H. E., Prasad, K. N., Ismail, A., Tan, C. P., & Rajab, N. F. (2010). Revealing the power of the natural red pigment lycopene. *Molecules*, 15(2), 959–987. <https://doi.org/10.3390/molecules15020959>
- Kumcuoglu, S., Yilmaz, T., & Tavman, S. (2014). Ultrasound assisted extraction of lycopene from tomato processing wastes. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12), 4102–4107. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0926-x>
- Lee, A., Thurnham, D. I., & Chopra, M. (2010). Consumption of tomato products with olive oil but not sunflower oil increases the antioxidant activity of plasma. *Free Radical Biology and Medicine*, 29(10), 1051–1055. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(00\)00440-8](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(00)00440-8)
- Liang, X., Ma, C., Yan, X., Liu, X., & Liu, F. (2019). Advances in research on bioactivity, metabolism, stability and delivery systems of lycopene. *Trends in Food Science and Technology*, 93(August), 185–196. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.019>
- Lin, Q., Liang, R., Williams, P. A., & Zhong, F. (2018). Factors affecting the bioaccessibility of  $\beta$ -carotene in lipid-based microcapsules: Digestive conditions, the composition, structure and physical state of microcapsules. *Food Hydrocolloids*, 77, 187–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.034>
- Lorenz, M., Fechner, M., Kalkowski, J., Fröhlich, K., Trautmann, A., Böhm, V., ... Stangl, V. (2012). Effects of lycopene on the initial state of atherosclerosis in new zealand white (nzw) rabbits. *PLoS ONE*, 7(1), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030808>
- Luterotti, S., Bicanic, D., Marković, K., & Franko, M. (2015). Carotenenes in processed

tomato after thermal treatment. *Food Control*, 48, 67–74.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.06.004>

Martínez-Hernández, G. B., Boluda-Aguilar, M., Taboada-Rodríguez, A., Soto-Jover, S., Marín-Iniesta, F., & López-Gómez, A. (2016). Processing, Packaging, and Storage of Tomato Products: Influence on the Lycopene Content. *Food Engineering Reviews*, 8(1), 52–75. <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9113-3>

Mehta, B. J., Obratsova, I. N., & Cerdá-Olmedo, E. (2003). Mutants and intersexual heterokaryons of *Blakeslea trispora* for production of  $\beta$ -carotene and lycopene. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(7), 4043–4048. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.7.4043-4048.2003>

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(February), 102369. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102369>

Periago, M., Martínez - Valverde, I., Ros, G., Martínez, C., & López, G. (2015). Propiedades químicas, biológicas y valor nutritivo del licopeno. *Anales de Veterinaria de Murcia*, 17(0), 51–66.

Porrini, M., Riso, P., Brusamolino, A., Berti, C., Guarnieri, S., & Visioli, F. (2014). Daily intake of a formulated tomato drink affects carotenoid plasma and lymphocyte concentrations and improves cellular antioxidant protection. *British Journal of Nutrition*, 93(1), 93–99. <https://doi.org/10.1079/bjn20041315>

Przybylska, S., & Tokarczyk, G. (2022). Lycopene in the Prevention of Cardiovascular Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4). <https://doi.org/10.3390/ijms23041957>

Quevedo Torres, K. L., Suzuki, V., Bernardes Fanaro, G., Fanaro de Oliveira, A., Torres Madeiro Leite, J. A., Mehlmann Namur, C. R., ... Masako Ferreira, L. (2020). ¿Licopeno Y Fotoprotección? *Advances in Nutritional Sciences*, 1(1), 80–88. <https://doi.org/10.47693/ans.v1i1.17>

- Raja, R., Hemaiswarya, S., & Rengasamy, R. (2007). Exploitation of *Dunaliella* for  $\beta$ -carotene production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *74*(3), 517–523. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0777-8>
- Rao, A. V., Ray, M. R., & Rao, L. G. (2018). Lycopene. *Advances in Food and Nutrition Research*, *51*(06), 99–164. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(06\)51002-2](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(06)51002-2)
- Re, R., Fraser, P. D., Long, M., Bramley, P. M., & Rice-Evans, C. (2010). Isomerization of lycopene in the gastric milieu. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *281*(2), 576–581. <https://doi.org/10.1006/bbrc.2001.4366>
- Richelle, M., Sanchez, B., Tavazzi, I., Lambelet, P., Bortlik, K., & Williamson, G. (2010). Lycopene isomerisation takes place within enterocytes during absorption in human subjects. *British Journal of Nutrition*, *103*(12), 1800–1807. <https://doi.org/10.1017/S0007114510000103>
- Shi, J., Le Maguer, M., Bryan, M., & Kakuda, Y. (2010). Kinetics of lycopene degradation in tomato puree by heat and light irradiation. *Journal of Food Process Engineering*, *25*(6), 485–498. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2003.tb00647.x>
- Story, E. N., Kopec, R. E., Schwartz, S. J., & Keith Harris, G. (2010). An update on the health effects of tomato lycopene. *Annual Review of Food Science and Technology*, *1*(1), 189–210. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.102308.124120>
- Tigcilema, C., Hernández, A., & Cardona, J. (2020). Revisión de Literatura: Importancia del licopeno, métodos de extracción y propuesta para la adición de tomate en polvo en jamón Virginia. <https://Bdigital.Zamorano.Edu>, 120. Retrieved from <https://bdigital.zamorano.edu:80/jspui/handle/11036/6938%0Ahttps://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/2463>
- Torresani, M., Oliva, M., Echevarría, C., & Rossi, M. (2006). LICOPENO:

IMPORTANCIA NUTRICIONAL Y EFECTOS SOBRE LA SALUD.  
*Qualitative Research in Psychology*, 0(2), 47–54.

Tsitsimpikou, C., Kioukia-Fougia, N., Tsarouhas, K., Stamatopoulos, P., Rentoukas, E., Koudounakos, A., ... Jamurtas, A. (2013). Administration of tomato juice ameliorates lactate dehydrogenase and creatinine kinase responses to anaerobic training. *Food and Chemical Toxicology*, 61, 9–13.  
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.12.023>

Varas, M. (2017). *EFECTO ANTIOXIDANTE DEL EXTRACTO DE LICOPENO DE TOMATE (Solanum lycopersicum) SOBRE LA VIDA ÚTIL DEL ACEITE DE LINAZA (Linum usitatissimum L.)*. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2978>

Viuda-Martos, M., Sanchez-Zapata, E., Sayas-Barberá, E., Sendra, E., Pérez-Álvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2014). Tomato and Tomato Byproducts. Human Health Benefits of Lycopene and Its Application to Meat Products: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(8), 1032–1049.  
<https://doi.org/10.1080/10408398.2011.623799>

Waliszewski, K. N., & Blasco, G. (2010). Propiedades nutraceuticas del licopeno. *Salud Publica de Mexico*, 52(3), 254–265. <https://doi.org/10.1590/S0036-36342010000300010>

Wang, X. D. (2012). Lycopene metabolism and its biological significance. *American Journal of Clinical Nutrition*, 96(5), 1214–1222.  
<https://doi.org/10.3945/ajcn.111.032359>

White, W. S., Zhou, Y., Crane, A., Dixon, P., Quadt, F., & Flendrig, L. M. (2017). Modeling the dose effects of soybean oil in salad dressing on carotenoid and fat-soluble vitamin bioavailability in salad vegetables. *American Journal of Clinical Nutrition*, 106(4), 1041–1051. <https://doi.org/10.3945/ajcn.117.153635>