



**ASPECTOS BIOQUÍMICOS Y BIOACTIVOS DE CATORCE ACCESOS DE  
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) CONSERVADOS EN EL BANCO  
PORTUGUES DE GERMOPLASMA VEGETAL.**

**César Gerardo Montoya Valencia**

Projeto apresentada ao Instituto Politécnico de Bragança e à Universidade de Salamanca  
para obtenção do Grau de Mestre em Farmácia e Química de Produtos Naturais

**Orientado por**

Isabel C.F.R. Ferreira

Ana María Carvalho

Bragança

2017

## **Agradecimientos.**

Le agradezco a Dios Todopoderoso por haberme guiado y acompañado a lo largo de la maestría. Él fue mi redentor, mi fuerza y mi compañía gracias por permitirme tener una vida llena de aprendizajes, lecciones y de felicidad.

Le doy gracias a mis padres Sonia de Velasco por ser siempre mi ejemplo de rectitud, empeño y esfuerzo, porque de no ser por su incansable trabajo no hubiera sido capaz de poder recorrer este camino y por brindarme su amor incondicional. Martin Velasco gracias por darme tu apoyo, no solo en los estudios sino en mi vida cotidiana; gracias por ser esa figura, ese modelo a seguir, ese héroe que cada joven ve en su padre, gracias por acompañarme en las buenas en las malas por tus consejos en el momento necesario. Ambos son mis ejemplos a seguir los amo mucho.

A mis suegros Wilfredo Castaneda y Cecilia de Castaneda; gracias por siempre estar pendientes de nuestro progreso, por apoyarnos a través de este viaje y porque siempre nos aconsejaron queriendo lo mejor para nosotros, muchísimas gracias.

A mis hermanos Xiomara Montoya y Eliu Montoya, por ser parte importante de mi vida por aconsejarme no solo en mi niñez sino a lo largo de mi vida, les agradezco porque siempre me mostraron el camino del bien siempre, me enseñaron a través del ejemplo y por apoyarme.

Gracias a la profesora Isabel Ferreira y profesora Lilian Barros por abrirme las puertas de su conocimiento, por todo el apoyo brindado a lo largo de este trabajo por permitirme trabajar a su lado y adquirir experiencia, no solo a nivel profesional sino también a nivel personal.

Profesora Ana María Carvalho, le agradezco su valioso consejo y disposición a lo largo de este trabajo, proporcionándome la orientación precisa para que todo saliera de la mejor manera.

Profesor Pablo García, gracias porque desde el primer momento nos brindó sus conocimientos no solo en el ámbito estudiantil sino también en el día a día, gracias por sus consejos por compartir de su tiempo y brindarnos su sincera amistad.

José Pinela gracias por ser mi acompañante en el trabajo laboratorial, por tu tiempo invertido y por transmitirme de tu conocimiento siempre con el fin de que aprendiera las cosas de la mejor manera y por el apoyo que me brindaste a lo largo del trabajo; y de manera especial a todas las personas que forman parte del equipo BioChemCore; por compartir un poco de su tiempo conmigo y mostrarme lo excelente personas y profesionales que son, de todos siempre tendré buenos recuerdos y buenas experiencias, gracias.

Gracias al Instituto Politécnico de Bragança y a la Universidad de Salamanca por permitirme ser parte de estas instituciones a lo largo de este master.

A mi esposa Blanca Castaneda, gracias por acompañarme en esta aventura que iniciamos con muchos nervios, nos ha sucedido de todo pero juntos hemos salido siempre adelante, este es una prueba más que los objetivos con esfuerzo se alcanzan y que los sueños se hacen realidad. En este viaje hemos crecido juntos en todos los aspectos y le doy gracias a Dios por haberte puesto en mi camino y por qué entre nosotros nunca faltó amor para ir siempre uno al lado de otro.

El autor agradece al programa Interreg España-Portugal por el apoyo financiero a través del proyecto 0377\_Iberphenol\_6\_E.



## Lista de símbolos, siglas y abreviaturas

<b><math>\lambda_{\max}</math></b>	Longitud de onda máxima
<b>A</b>	Absorbancia
<b>Ache</b>	Acetilcolinesterasa
<b>ACR</b>	Actividad captadora de radicales
<b>ADN</b>	Ácido desoxirribonucleico
<b>ANOVA</b>	Análisis de varianza de una vía
<b>AOAC</b>	Asociación de Químicos Analíticos Oficiales ( <i>Association of Official Analytical Chemists</i> )
<b>ARN</b>	Ácido ribonucleico
<b>BHT</b>	Butil-hidroxitolueno
<b>BPGV</b>	Banco Portugués de Germoplasma Vegetal
<b>BuChe</b>	Butirilcolinesterasa
<b>DAD</b>	Detector de arreglo de diodos
<b>DPPH</b>	2,2-difenil-1-picril-hidrazilo
<b>EC<sub>50</sub></b>	Concentración de extracto correspondiente al 50% de actividad antioxidante o a 0,5 de absorbancia en el ensayo del poder reductor
<b>FAME</b>	Esteres metílicos de ácido grasos ( <i>Fatty acid methyl ester</i> )
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
<b>FID</b>	Detector de ionización de llama
<b>GC</b>	Cromatografía gaseosa
<b>GRIN-Global</b>	Red de Información sobre Recursos de Germoplasma ( <i>Germplasm Resource Information Network</i> )
<b>HPLC</b>	Cromatografía líquida de alta eficiencia ( <i>High performance liquid chromatography</i> )
<b>LDL</b>	Lipoproteínas de baja densidad ( <i>Low density lipoprotein</i> )
<b>MDA-TBA</b>	Ácido tiobarbitúrico-malondialdehído
<b>mf</b>	Masa fresca
<b>MS</b>	Espectrómetro de masas
<b>MUFA</b>	Ácidos grasos monoinsaturados ( <i>Monounsaturated fatty acids</i> )

<b>PDA</b>	Detector de fotodiodos ( <i>Photodiode Array Detector</i> )
<b>PUFA</b>	Ácidos grasos poli-insaturados ( <i>Polyunsaturated fatty acids</i> )
<b>RNS</b>	Especies radicalares de nitrógeno ( <i>Reactive nitrogen species</i> )
<b>ROS</b>	Especies radicalares de oxígeno ( <i>Reactive oxygen species</i> )
<b>Rt</b>	Tiempo de retención
<b>SD</b>	Desviación estándar
<b>SFA</b>	Ácidos grasos saturados ( <i>Saturated fatty acids</i> )
<b>TBA</b>	Ácido tiobarbitúrico
<b>TBARS</b>	Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico ( <i>Thiobarbituric reactive substances</i> )
<b>Trolox</b>	Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico
<b>UE</b>	Unión Europea
<b>UFLC</b>	Cromatografía líquida ultra rápida ( <i>Ultra Fast Liquid Chromatography</i> )
<b>USDA</b>	Departamento de agricultura de los Estados Unidos ( <i>United States Department of Agriculture</i> )
<b>UV-vis</b>	Ultravioleta visible

## INDICE

<b>Resumen .....</b>	<b>xii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>xiii</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Antecedentes .....	5
1.2.1 El tomate en Europa .....	6
1.3 Clasificación y descripción botánica del tomate.....	11
1.3.1 Clasificación taxonómica .....	11
1.3.2 Fruto .....	11
1.4 Aplicaciones.....	12
1.4.1 Usos alimenticios.....	12
1.4.2 Usos medicinales .....	13
1.5 Compuestos bioactivos presentes en el tomate.....	13
1.5.1 Carotenoides .....	14
1.5.2 Vitaminas.....	16
1.5.3 Compuestos fenólicos.....	18
1.5.4 Glicoalcaloides .....	21
1.6 Bioactividad de los compuestos presentes en el tomate .....	21
1.6.1 Propiedades bioactivas de los carotenoides.....	22
1.6.2 Propiedades bioactivas de las vitaminas.....	23
1.6.3 Propiedades bioactivas de los compuestos fenólicos .....	24
1.6.4 Compuestos bioactivos en los glicoalcaloides .....	25
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>26</b>

<b>3</b>	<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1	Muestras y preparación de las muestras .....	27
3.2	Patrones y reactivos. ....	28
3.3	Valor energético.....	28
3.4	Composición química .....	29
3.4.1	Composición de azúcares .....	29
3.4.2	Composición en ácidos orgánicos .....	30
3.4.3	Ácidos grasos.....	30
3.4.4	Composición en tocoferoles .....	31
3.4.5	Pigmentos .....	32
3.4.6	Compuestos fenólicos.....	32
3.5	Evaluación in-vitro de las propiedades antioxidantes.....	34
3.5.1	Preparación de los extractos .....	34
3.5.2	Actividad Captadora de radicales 2,2-difenil-1picril-hidrazilo (DPPH).....	35
3.5.3	Poder reductor .....	35
3.5.4	Inhibición de decoloración de $\beta$ -caroteno .....	36
3.5.5	Inhibición de peroxidación lipídica utilizando sustancias reactivas de ácido tiobarbiturico (TBARS).....	37
3.6	Análisis estadístico .....	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>38</b>
4.1	Composición química .....	40
4.1.1	Azúcares y ácidos orgánicos.....	40
4.1.2	Ácidos grasos y tocoferoles .....	43
4.1.3	Carotenoides .....	46
4.1.4	Caracterización de compuestos fenólicos en muestras de <i>Solanum lycopersicum</i> L.....	48

4.2	Actividad Antioxidante de <i>Solanum lycopersicum</i> L .....	52
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>54</b>
	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>58</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Valor nutricional de 100 g de tomate fresco.....	4
<b>Tabla 2.</b> Especies nativas de tomate, <i>Solanum lycopersicum</i> L. y su distribución (Nomenclatura y sinonimias según The Plant List).....	6
<b>Tabla 3.</b> Producción de tomate fresco por área cosechada (Mil hectáreas).....	9
<b>Tabla 4.</b> Contexto taxonómico de <i>Solanum lycopersicum</i> L. ....	11
<b>Tabla 5.</b> Nombres locales y ubicación de muestras (accesos) de <i>Solanum lycopersicum</i> L. ....	27
<b>Tabla 6:</b> Estudio de valor nutricional de las muestras de <i>S. lycopersicum</i> (media $\pm$ SD)...	39
<b>Tabla 7:</b> Composición en azúcares (g/100 g mf) y ácidos orgánicos (mg/100 g mf) de <i>S. lycopersicum</i> (media $\pm$ SD). ....	42
<b>Tabla 8.</b> Principales ácidos grasos (porcentaje relativo %) y tocoferoles (mg/100 g mf) de <i>S. lycopersicum</i> (media $\pm$ SD). ....	45
<b>Tabla 9.</b> Contenido de carotenoides, $\beta$ -caroteno, licopeno, clorofila A y B (mg/100 g mf) en muestras de <i>S. lycopersicum</i> (media $\pm$ SD). ....	47
<b>Tabla 10.</b> Tiempos de retención (Rt), longitudes de onda de máxima absorción en la región visible ( $\lambda_{max}$ ), datos del espectro de masas, identificación tentativa de compuestos fenólicos presentes en <i>S. lycopersicum</i> .....	50
<b>Tabla 11.</b> Cuantificación de los compuestos fenólicos presentes en <i>S. lycopersicum</i> ( $\mu$ g/100 g mf). ....	51
<b>Tabla 12.</b> Propiedad Antioxidante de <i>Solanum lycopersicum</i> L. ....	53

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Producción de tomate fresco (en toneladas) en el mundo.....	2
<b>Figura 2.</b> (a) Peso (en %) de producción de tomate en los diferentes continentes, comparación entre año 1990 y 2010. (b) Producción de los mayores 9 países en el cultivo de tomate. ....	8
<b>Figura 3.</b> (a) Representación esquemática del desarrollo de la flor en un fruto después de la polinización / fertilización. (b) Procesos fisiológicos que ocurren durante el desarrollo del fruto (Bergougnoux, 2014). ....	12
<b>Figura 4.</b> Compuestos bioactivos presentes en el tomate. ....	14
<b>Figura 5.</b> Estructuras químicas de (a) licopeno, (b) $\beta$ -caroteno y (c) vitamina A. ....	15
<b>Figura 6.</b> Estructura química de (a) ácido ascórbico y (b) ácido dihidroascórbico. ....	17
<b>Figura 7.</b> Estructuras químicas de (a) tocoferoles y (b) tocotrienoles. ....	18
<b>Figura 8.</b> Ácidos fenólicos derivados del ácido benzoico. ....	19
<b>Figura 9.</b> Ácidos fenólicos derivados del ácido cinámico. ....	20
<b>Figura 10.</b> Estructura química de (a) ácido cafeico y (b) ácido clorogénico. ....	20
<b>Figura 11.</b> Estructura química de (a) $\alpha$ -tomatina, (b) dehidrotomatina y (c) esculeosido A. ....	22

## Resumen

El tomate es uno de los vegetales más consumidos en el mundo y es el componente más importante de la dieta mediterránea. Hoy en día los consumidores son cada vez más conscientes y están mejor informados acerca de los beneficios a la salud que proporcionan los alimentos más allá de su función nutricional básica. Los principales compuestos del fruto de tomate son: carotenoides ( $\beta$ -caroteno y licopeno), vitaminas (ácido ascórbico y tocoferoles), compuestos fenólicos incluyendo derivados de los ácidos hidrocínicos (ácido cafeico y su éster, el ácido clorogénico) y flavonoides. Sin embargo el contenido de compuestos bioactivos es afectado por factores ambientales y genéticos (cultivares o variedades), ubicación, prácticas agrícolas, condiciones de procesamiento entre otros. Por lo cual se hace importante determinar el valor nutricional/valor energético y composición química (tocoferoles, azúcares libres, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos) de *Solanum lycopersicum* L. (tomate), y también evaluar la actividad antioxidante de los extractos preparados a partir de ello. Las 14 muestras de tomates estudiadas han sido proporcionadas por el Banco Portugués de Germoplasma Vegetal, que es el encargado de la recolección, organización, identificación y conservación del material genético de cultivos y especies silvestres

Según los resultados obtenidos las muestras de tomate analizadas presentan valores similares a los reportados por organizaciones como la USDA y la FAO, además de se confirma la presencia de compuestos bioactivos que generan beneficios a la salud como el ácido ascórbico y tocoferoles, asociado a la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo; compuestos fenólicos, el ácido cafeico y sus derivados, el ácido *p*-cumárico y sus derivados, asociados con la prevención de aterosclerosis y cáncer debido a su capacidad de quelar metales, inhibir la peroxidación lipídica y su capacidad *scavenger* en radicales libres. Todas las muestras han demostrado actividad antioxidante.

Los resultados obtenidos dan soporte científico a la afirmación de que las muestras de tomates analizadas presentan un gran aporte nutricional, tienen capacidad antioxidante y poseen compuestos de interés (nutricional y farmacológico) haciéndolo ideal como alimento de consumo diario y de fácil adquisición para la población.

## **Abstract**

Tomato is one of the most consumed vegetables in the world and is the most important component of the Mediterranean diet. Today, consumers are becoming more aware and better informed about the health benefits of food beyond its basic nutritional function. The main compounds of the tomato fruit are carotenoids ( $\beta$ -carotene and lycopene), vitamins (ascorbic acid and tocopherols) and phenolic compounds including derivatives of hydrocinnamic acids (caffeic acid and its ester, chlorogenic acid) and flavonoids. However, the content of bioactive compounds is affected by environmental and genetic factors (cultivars or varieties), location, agricultural practices, processing conditions among others. Therefore, it is important to determine the nutritional value/energetic contribution and chemical composition (tocopherols, free sugars, organic acids and phenolic compounds) of *Solanum lycopersicum* L. (tomato), as also to evaluate the antioxidant activity of its extracts. In the present work, the 14 studied samples of tomatoes were provided by the Portuguese Genebank, which is responsible for the collection, organization, identification and conservation of crops and wild species germplasm.

According to the results, the analyzed tomato samples presented values that are similar to those reported by organizations such as USDA and FAO, being confirmed the presence of bioactive compounds that generate health benefits such as ascorbic acid and tocopherols, associated with disease prevention related to oxidative stress; phenolic compounds, caffeic acid and its derivatives, *p*-coumaric acid and its derivatives, associated with the prevention of atherosclerosis and cancer due to its ability to chelate metals, inhibit lipid peroxidation and its ability to scavenge free radicals. All samples have shown antioxidant activity.

The results obtained give scientific support to the assertion that these samples of tomatoes have a great nutritional contribution, antioxidant capacity and very interesting compounds (nutritional and pharmacological) making it ideal as food for daily consumption and easy to acquire by the population.

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Generalidades

Los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura son la materia prima de la que el mundo depende para mejorar la productividad y calidad de los cultivos, la ganadería, la silvicultura y la pesca, así como para mantener poblaciones saludables de especies silvestres. Por tanto, la conservación y uso sostenible de los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura es un aspecto central de la seguridad alimentaria y la nutrición. Conservar y utilizar un amplio abanico de diversidad tanto entre especies como dentro de las especies significa garantizar opciones para responder a los retos del futuro. La diversidad de los recursos genéticos (plantas/cultivos, animales, recursos acuáticos, bosques, microorganismos e invertebrados) desempeña un papel crucial para atender las necesidades alimentarias y nutricionales humanas básicas. Resulta esencial para mantener y mejorar la eficiencia y resiliencia de los sistemas productivos, así como para contribuir a dietas sostenibles y para la prestación de servicios ecosistémicos tales como la regulación de plagas y enfermedades (Aristizábal, Autoras, & Lorío, 2007)

Todos los países dependen de la diversidad genética de otros países y regiones. La cooperación internacional y el intercambio abierto de recursos genéticos son por tanto cruciales para la seguridad alimentaria. Los sistemas operativos mundiales del Tratado Internacional, que incluyen el Sistema multilateral de acceso y distribución de beneficios y el Sistema Mundial de Información sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura, facilitan el intercambio de recursos fitogenéticos y la información pertinente (Aristizábal et al., 2007)

En Portugal la recolección, organización e identificación del material genético es realizado por el Banco Portugués de Germoplasma Vegetal, en un proceso en el cual se toman en cuenta muchos parámetros de las muestras recolectadas, al ser un proceso delicado y de suma importancia deben seguirse directrices rigurosas para que la clasificación e identificación de cada una de la muestras corresponda única y exclusivamente para aquella muestra y que dentro de su descripción englobe en su mayoría todas las características que hace ser a la muestra lo que dice que es (International Plant Genetic Resources Instit., 1996)

El tomate es uno de los vegetales más consumidos en el mundo después de las patatas y antes que las cebollas y probablemente es el cultivo de huerto más preferido. En la actualidad el tomate es vendido no solamente fresco sino que también procesado como pasta, sopa, salsa, polvo, concentrado o entero (Bergougnoux, 2014).

El tomate pertenece a la familia Solanaceae que incluye otras plantas de importancia económica, incluyendo patatas, berenjenas, pimientos, tabaco y otras especies de interés alimentar y medicinal. Hoy en día esta especie representa la cosecha de hortalizas más importante económicamente en todo el mundo (Bergougnoux, 2014; Pinela, Oliveira, & Ferreira, 2016b).

En 2013, alrededor de 164 millones de toneladas de tomate fueron producidos en el mundo, habiéndose registrado un aumento por encima de 2.6 millones de toneladas con respecto al año 2012. El tomate es el componente más importante de la dieta mediterránea debido al beneficio a la salud humana. **(Figura 1)** (FAO, 2015; Pinela et al., 2016b).



**Figura 1.** Producción de tomate fresco (en toneladas) en el mundo.  
Fuente: Adaptado de Faostat

El reciente aumento en la producción de tomate responde al incremento en el consumo del mismo. Desde un punto de vista general es en los países mediterráneos y árabes que el consumo de tomate es el más alto con un promedio entre 40 y 100 kg/persona/año (Bergougnoux, 2014).

Las áreas de mercado de tomate fresco más representativas en Portugal son el Oeste, Algarve y Porto, produciéndose varios tipos de tomate como alargado, cacho, redondo y sulcado. El cultivo de tomate en invernadero predomina ampliamente sobre el cultivo al aire libre. En la región Norte, cerca del 92% del área es de invernadero, pero sin sistema de climatización. En el Algarve, cerca del 53% del área de tomate fresco se produce también en invernadero. Este régimen de producción contribuyo con más del 70% de la producción de tomate regional. La producción por hectárea llega a alcanzar las 80 toneladas. Para los tomates producidos en régimen de aire libre, la campaña de producción y comercialización se deriva a mediados de junio a septiembre en el oeste y de septiembre a octubre en Algarve, mientras que la campaña del tomate de invernadero se efectúa durante todo el año (OMAIAA, 2013)

El mayor volumen de transacciones ocurre en los meses de verano, dado los elevados consumos de este producto hortícola en ensaladas. El 80% del tomate fresco se comercializa a través de las organizaciones de productores, presentando alguna importancia los mercados abastecedores y las grandes superficies en flujo de este alimento. En Portugal, en los últimos veinte años, el consumo de tomate fresco ha aumentado, habiendo alcanzado en los últimos años un volumen medio de 108 mil toneladas de tomate consumidas. El aumento de la importancia de este cultivo en la región de Entre Douro y Minho es debido tanto a la buena aceptación del producto por los consumidores regionales, bien por la salida de importantes cantidades de tomate a otros países de la Unión Europea (OMAIAA, 2013).

El tomate en fresco y los productos alimenticios a base de tomate son una fuente de alimento para la población mundial. En cuanto a su valor nutricional si solo se toma en consideración el contenido de proteínas, grasas, carbohidratos o azúcares, parece claramente que no tiene un alto valor nutricional (**Tabla 1**). Pero el tomate representa una fuente importante de otros nutrientes y no nutrientes dotados de importantes propiedades que promueven la salud como los carotenoides,  $\beta$ -caroteno (Provitamina A) y en su

mayoría licopeno, que proporciona el color rojo intenso; vitaminas, tales como ácido ascórbico (vitamina C) y tocoferoles (vitamina E); compuestos fenólicos que incluyen derivados del ácido hidroxicinámico y flavonoides; lectinas; y minerales (K, Mn, Ca, Cu y Zn) (Barros et al., 2012; Guil-Guerrero & Reboloso-Fuentes, 2009; Pinela, Barros, Carvalho, & Ferreira, 2012; Pinela et al., 2016b).

**Tabla 1.** Valor nutricional de 100 g de tomate fresco.

<b>Constituyentes (g)</b>	
Agua	94.52
Proteínas	0.88
Grasas	0.2
Fibras	1.2
Carbohidratos	2.63
Energía (kcal)	18
<b>Minerales (mg)</b>	
Calcio	10
Magnesio	11
Fosforo	24
Sodio	237
Fluoruro <sup>a</sup>	2.3
<b>Vitaminas (µg)</b>	
Vitamina C <sup>b</sup>	13.7
Colina <sup>b</sup>	6.7
Vitamina A	42
α-Caroteno	449
β-Caroteno	101
Licopeno	2573
Luteína + zeaxantina	123
Vitamina K	7.9

<sup>a</sup>Valor expreso en µg; <sup>b</sup>Valor expreso en mg.

**Fuente:** USDA, <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>

## 1.2 Antecedentes

El tomate pertenece a la familia Solanaceae y existen nueve especies silvestres distribuidas a lo largo de Centro y Sur América. La forma silvestre de *Solanum lycopersicum* L. L. se encontró en México, Centro América y Sur América y es probablemente el progenitor de las especies domesticadas (**Tabla 2**) (Bai & Lindhout, 2007; Hancock, 2004).

La nomenclatura científica ha cambiado a lo largo del tiempo. Hoy día el nombre binomial aceptado para designar la especie es *Solanum lycopersicum* L. Sin embargo, el uso de las sinonimias *Lycopersicon lycopersicum* (L.) H. Karst. y *Lycopersicon esculentum* Mill aún son frecuentes en muchos trabajos de índole técnico-científica. Así, es posible encontrar en la bibliografía referencias a especies y subespecies de los Géneros *Lycopersicon* y *Solanum* para nombrar diferentes tipos de tomate (“The Plant List,” 2015)

El origen del tomate proviene de las regiones andinas de Colombia, Chile, Perú y Bolivia. Sin embargo América fue el sitio original de domesticación. Dos hipótesis han surgido sobre el lugar de domesticación del tomate, una proveniente de Perú y otra proveniente de México (Bai & Lindhout, 2007; Saavedra, Figueroa, & Cauhi, 2017)

**Tabla 2.** Especies nativas de tomate, *Lycopersicon* y *Solanum* y su distribución (Nomenclatura y sinonimias según The Plant List).

<b>Especies</b>	<b>Distribución</b>
<i>Lycopersicon. cheesmanii</i> L. Riley ( <i>Solanum cheesmaniae</i> (Riley) Fosberg.)	Islas Galápagos
<i>L. chilense</i> Dun ( <i>S. chilense</i> Dunal)	Sur de Perú y norte de Chile
<i>L. chmielewskii</i> C.M. Rick, Kesicki, Fobes & M.Holle	Zona Inter andina de Perú Los Andes, Brasil, Colombia, América central y
<i>L. esculentum</i> var. <i>cesasiforme</i> (Dun) A. Gray	México Desde la región central sur de
<i>L. hirsutum</i> Humb. & Bonpl.	Perú has el norte de Ecuador
<i>L. parviflorum</i> C.M. Rick, Kesicki, Fobes & M.Holle	Zona Inter andina de Perú
<i>L. peruvianum</i> (L). Mill ( <i>S. peruvianum</i> L.)	Perú y al Norte de Chile
<i>L. pimpinellifolium</i> (L.) Mill ( <i>S. pimpinellifolium</i> L.)	Costas de Perú y Ecuador
<i>Solanum pennellii</i> (Correll) D'Arcy	Zona central de los Andes Perú

Fuente: (Bergougnoux, 2014)

Si bien el origen del tomate es en tierras andinas donde luego fue llevado hacia México. Es este último el país que actuó como centro de difusión de la especie, y donde generalmente es aceptado como el lugar donde el tomate tuvo su primera domesticación, aunque como se ha mencionado aun la evidencia es inconclusa (Hancock, 2004).

### **1.2.1 El tomate en Europa**

La domesticación del tomate inicia en México con la posterior dispersión hacia todas las partes del globo. De este modo y por medio de la expedición de Hernán Cortés es que el tomate llega a Europa (Hancock, 2004). La domesticación se caracteriza por la modificación de una amplia gama de las características morfológicas y fisiológicas del cultivo en comparación con su antepasado silvestre, a esto se le llama “síndrome de domesticación”. El síndrome de domesticación varía de un cultivo a otro, pero generalmente se centra en el hábito de crecimiento, incrementando la precocidad del cultivo, reduciendo o perdiendo la

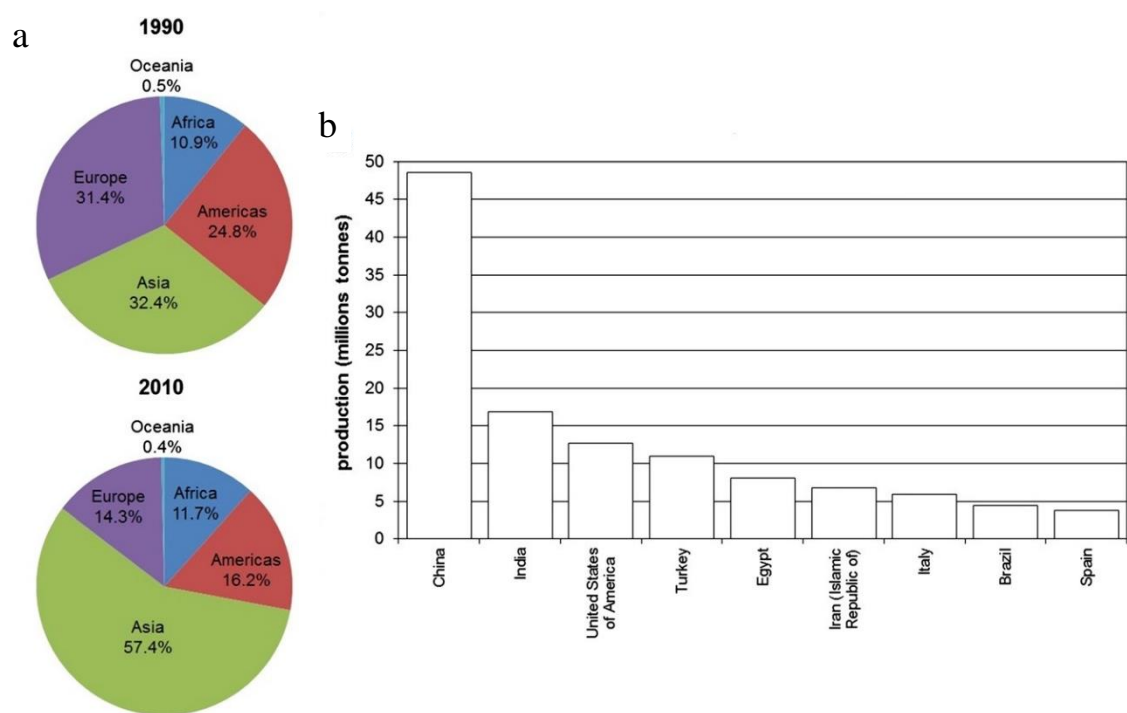
capacidad de dispersión de la semilla y su tiempo de latencia, gigantismo y aumento de la morfología (Bergougnoux, 2014; Doebley, Gaut, & Smith, 2006).

La fecha inicial de domesticación es desconocida, pero el cultivo de tomate estaba bien establecido cuando los exploradores Europeos arribaron a México. El cultivo de tomates de Norteamérica y Europa provienen probablemente de Mesoamérica, ya que son más parecidas a las especies Mexicanas que a las Sudamericanas. (Hancock, 2004). Los españoles introdujeron el cultivo del tomate en Europa, y le diversificaron y mejoraron en nuevas formas y cultivaron en los huertos en el sur del territorio europeo (Pinela et al., 2016b; Quer, 2000).

Las cualidades intrínsecas del fruto son los cambios más importantes observados durante la etapa de domesticación del tomate como: la forma, color, firmeza de la fruta y su vida útil. Si se considera la especie de tomate silvestre, los frutos son muy pequeños, destinados a proteger la especie y no a alimentar a los humanos. Pero los tomates cultivados modernos ofrecen una gran variación en el tamaño del fruto. El tamaño potencial de la fruta dependerá del número de células que se establece en la etapa de pre-antesis. Pero el tamaño final de la fruta depende de la velocidad y duración de la ampliación celular (Bergougnoux, 2014; Chevalier et al., 2011).

Como se ha mencionado anteriormente en 2013 se produjeron alrededor de 164 millones de toneladas de tomate habiéndose registrado un aumento por encima de 2.6 millones de toneladas con respecto al año 2012. Estos números respectan la producción global de tomate especificando las cantidades de tomate para consumo en fresco y para la industria de tomate procesado, la cual exige mayores cantidades (Pinela, Oliveira, & Ferreira, 2016)

Sorprendentemente Europa y América no representaban los productores más importantes, hoy en día Asia domina el mercado del tomate con China en primer lugar, seguido en orden decreciente por India, Estados Unidos de América, Turquía, Egipto, Irán, Brasil, España y Uzbekistán. (**Figura 2A y B**) (Bergougnoux, 2014).



**Figura 2.** (a) Peso (en %) de producción de tomate en los diferentes continentes, comparación entre año 1990 y 2010. (b) Producción de los mayores 9 países en el cultivo de tomate (Fuente: FAO Statistics; <http://faostat3.fao.org/home/index.html>).

Portugal es el tercer mayor productor de tomate de la Unión Europea, con un 8% de la producción total el año 2016, por detrás de Italia con un 36,3% y España con un 27,4%, según un informe publicado por la Oficina Europea de Estadística, Eurostat. Juntos, los tres países generan alrededor de tres cuartas partes de todos los tomates producidos en la UE por peso (**Tabla 3**) (Eurostat, 2016).

**Tabla 3.** Producción de tomate fresco por área cosechada (Mil hectáreas).

<b>País\tiempo</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Unión Europea (composición cambiante)	253.99	229.38	230	248.08	256.27	:
UE (28 países)	254.58	229.83	230.45	248.08	256.27	:
Euro área (19 países)	:	:	:	:	:	:
Bélgica	0.47	0.48	0.52	0.51	0.51	0.52 <sup>(p)</sup>
Bulgaria	4.3	3.4	3.8	3.59	3.28	3
Republica Checa	0.41	0.38	0.31	0.28	0.2	0.34
Dinamarca	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03 <sup>(p)</sup>
Alemania	0.32	0.32	0.33	0.33	0.33	:
Estonia	0 <sup>(n)</sup>	0.01	0	0	0	0 <sup>(n)</sup>
Irlanda	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Grecia	19.73	15.98	16.66	17.25	17.36	16.84
España	51.2	48.61	46.62	54.75	58.13	62.98 <sup>(p)</sup>
Francia	6.02	5.23	5.92	5.83	5.69	4.63
Croacia	0.6	0.45	0.45	0.32	0.42	0.4
Italia	103.78	91.85	95.19	103.11	107.18	105.14
Chipre	0.2	0.2	0.21	0.21	0.27	0.3 <sup>(e)</sup>
Letonia	0 <sup>(n)</sup>	0 <sup>(n)</sup>	0 <sup>(n)</sup>	0 <sup>(n)</sup>	0 <sup>(n)</sup>	:
Lituania	0.63	0.58	0.59	0.54	0.49	0.5
Luxemburgo	0	0	0	0	0 <sup>(p)</sup>	:
Hungría	1.98	1.28	1.74	1.88	2.26	1.93
Malta	0 <sup>(n)</sup>	0 <sup>(n)</sup>	0 <sup>(n)</sup>	0 <sup>(n)</sup>	0 <sup>(n)</sup>	0 <sup>(n)</sup>
Holanda	1.7	1.69	1.77	1.78	1.76	1.73

<b>país\tiempo</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Austria	0.19	0.18	0.18	0.19	0.19	0.18
Polonia	13.5	13.1	11.8	13.5	13.8	12.4 <sup>(e)</sup>
Portugal	16.75	15.41	15.63	18.46	18.66	20.81
Rumania	31.64	29.75	28.07	24.43	24.56	25.5
Eslovenia	0.2	0.22	0	0.23	0.19	:
Eslovaquia	0.77	0.51	0.44	0.51	0.57	:(z)
Finlandia	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.1
Suecia	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Reino Unido	0 <sup>(n)</sup>	0 <sup>(n)</sup>	0	0.2	0.23	0.23 <sup>(p)</sup>
Islandia	0	0	0	0	0.01 <sup>(e)</sup>	:
Liechtenstein	:	:	:	:	:	:
Noruega	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	:
Suiza	:	:	:	0.19 <sup>(e)</sup>	0.19	0.19
Montenegro	0.07	0.07	0.07	0.07	0 <sup>(n)</sup>	:
Albania	6.1	6.5	:	6.3	6.24	:
Serbia	9.58	9.16	8.72	9.16	8.87	:
Turquía	181	189	189	183	187	:
Bosnia y Herzegovina	3.74 <sup>(e)</sup>	3.75 <sup>(e)</sup>	3.7 <sup>(e)</sup>	3.33 <sup>(e)</sup>	3.49	:

: = no disponible, n = no significativo, e = estimado, p= provisional, z= no aplicable

**Fuente:** Tabla adaptada de Oficina Europea de Estadísticas, Eurostat (Eurostat, 2016).

### 1.3 Clasificación y descripción botánica del tomate

#### 1.3.1 Clasificación taxonómica

**Tabla 4.** Contexto taxonómico de *Solanum lycopersicum* L.

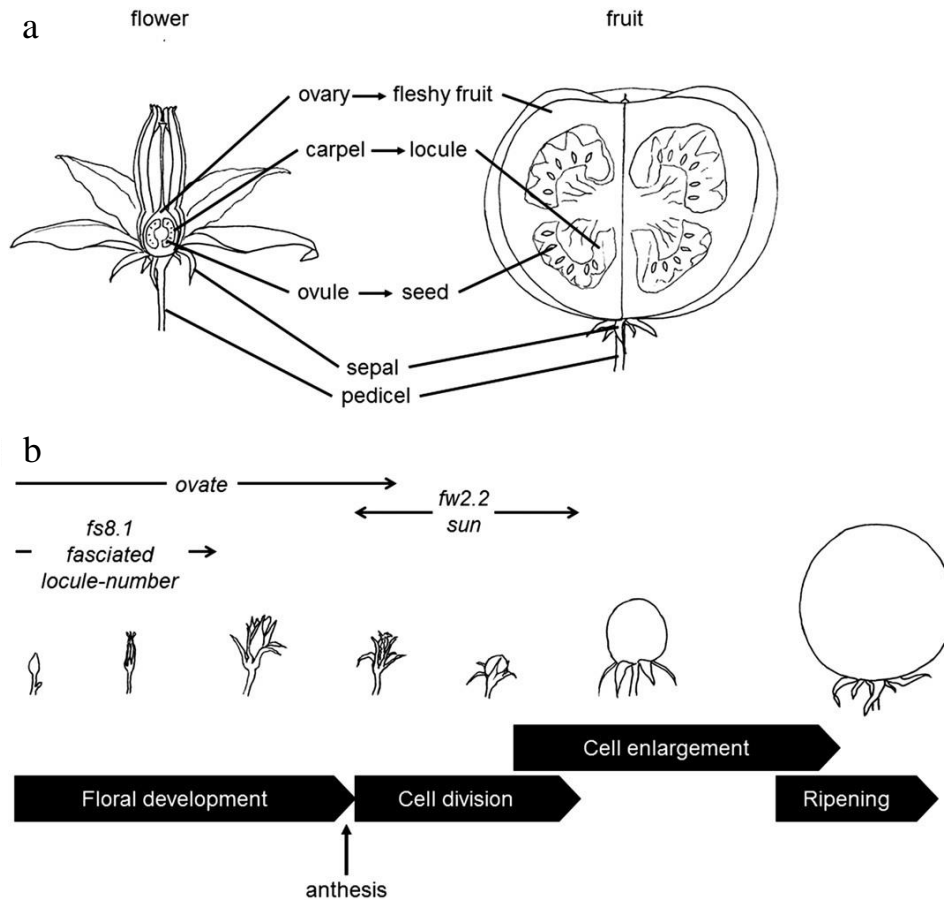
Clasificación Taxonómica	
<b>Reino</b>	Plantae
<b>Clase</b>	Equisetopsida
<b>Super orden</b>	<i>Magnoliidae</i>
<b>Orden</b>	Solanales
<b>Familia</b>	Solanaceae
<b>Género</b>	<i>Solanum</i> L.
<b>Especie</b>	<i>Solanum lycopersicum</i> L.

Fuente: Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 01 Mar 2017

<<http://www.tropicos.org/Name/29605838>>

#### 1.3.2 Fruto

El fruto carnoso del tipo baya corresponde al ovario de la planta y se compone de una epidermis o epicarpio, un mesocarpio grueso y de tejido placentario rodeando la semilla, el endocarpio (**Figura 3A**). Los tres constituyen el pericarpio que corresponde a la pared del gineceo, el cual está compuesto por dos, tres o cinco carpelos, determinando el número de lóculos del fruto. Hay esencialmente cuatro etapas en el desarrollo del fruto: 1) 2-3 semanas de desarrollo floral; 2) un periodo de actividad de división mitótica intensiva que se inicia mediante la fecundación y dura aproximadamente 2 semanas; 3) un periodo de expansión celular (hasta 20 veces), caracterizada por endo-reduplicación intensa y el establecimiento de células altamente diploides; 4) madurez o maduración fase que surge después de que el crecimiento se detiene y se caracteriza por cambio químicos, bioquímicos y estructurales (**Figura 4B**) (Bergougnoux, 2014; Tanksley, 2009; Quer, 2000).



**Figura 3.** (A) Representación esquemática del desarrollo de la flor en un fruto después de la polinización / fertilización. (B) Procesos fisiológicos que ocurren durante el desarrollo del fruto (Bergougnoux, 2014).

## 1.4 Aplicaciones

### 1.4.1 Usos alimenticios

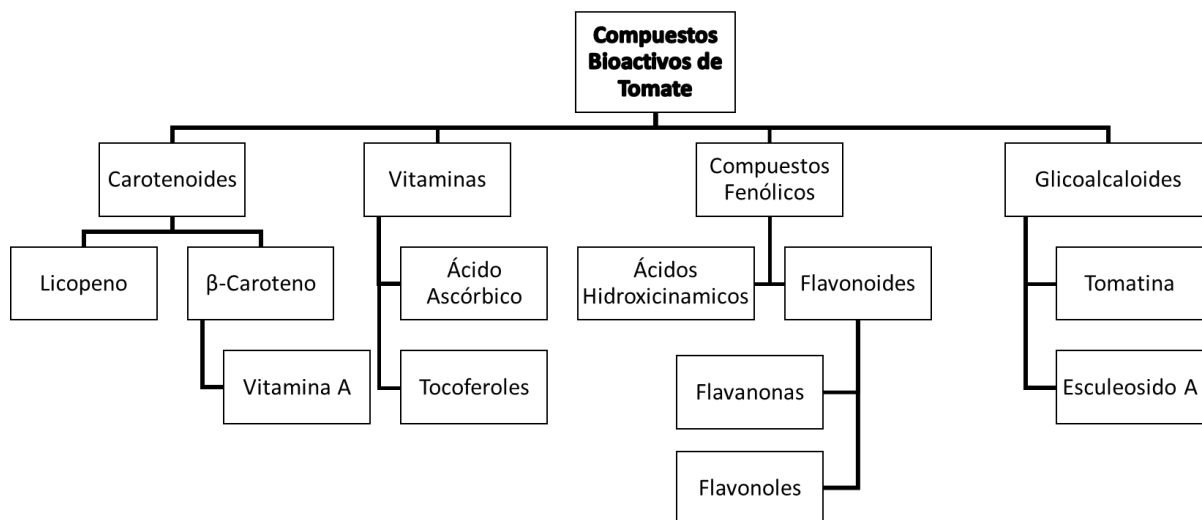
Más que como remedio, el tomate se emplea como alimento y condimento, formando parte de numerosas y diversas salsas. Se consume en fresco o procesado. Con la carne de los tomates y con sus jugos se preparan confituras y bebidas refrescantes ricas en vitaminas. Para aprovecharlas en todo su integridad lo mejor es comerlos crudos, en ensaladas o reducidos en forma de pulpa. Si se dispone de un batidor mecánico lo mejor es cortarlos a pedacitos y colocarlo en este aparato. La pulpa resultante puede ingerirse como más se apetezca (Quer, 2000).

### 1.4.2 Usos medicinales

Desde el punto de vista terapéutico, las facultades del tomate provienen de su riqueza vitamínica. Por contener vitamina A, el tomate defiende el organismo contra diversas infecciones de la boca, garganta y nariz, de la vista y de otras afecciones de órganos internos. Por contener vitamina B, estimula las funciones del aparato digestivo, abre el apetito y modifica en sentido favorable cuanto afecta a la digestión. La vitamina C, más general en las plantas, se halla contenida en el tomate en gran proporción; esta vitamina es antiescorbútica, se considera necesaria para mantener, en buen estado sobre todo las encías y para conservar los dientes bien firmes en ella (Quer, 2000).

### 1.5 Compuestos bioactivos presentes en el tomate

Hoy en día los consumidores son cada vez más conscientes y están mejor informados acerca de los beneficios a la salud que proporcionan los alimentos más allá de su función nutricional básica. Actualmente se buscan alimentos con propiedades promotoras de salud que son llamados “alimentos funcionales”. Un buen ejemplo de este tipo de alimento es el tomate, cuya funcionalidad o propiedades que aporta a la salud son conferidas por la presencia de ingredientes biológicamente activos responsables de disminuir el riesgo y/o la susceptibilidad a ciertas enfermedades. Los principales compuestos del fruto de tomate son principalmente carotenoides ( $\beta$ -caroteno y licopeno), vitaminas (ácido ascórbico y tocoferoles), compuestos fenólicos incluyendo derivados del ácidos hidrocínicos (ácido cafeico y su éster, el ácido clorogénico) y flavonoides tales como narigenina y rutina (Barros et al., 2012; García-Valverde, Navarro-González, García-Alonso, & Periago, 2013; Pinela, Barros, Carvalho, et al., 2012; Pinela et al., 2016b). Otros compuestos bioactivos, tales como los glicoalcaloides y lectinas también presentes en frutos de tomate han mostrado efectos biológicos relevantes *in vitro* y también *in vivo* (**Figura 5**) (Friedman, 2013, 2015; Pinela et al., 2016b). Sin embargo el contenido de compuestos bioactivos es afectado por factores ambientales y genéticos (cultivares o variedades), ubicación, prácticas agrícolas, condiciones de procesamiento entre otros. A continuación se presentan los principales compuestos bioactivos presentes en el tomate (Pinela et al., 2016b).

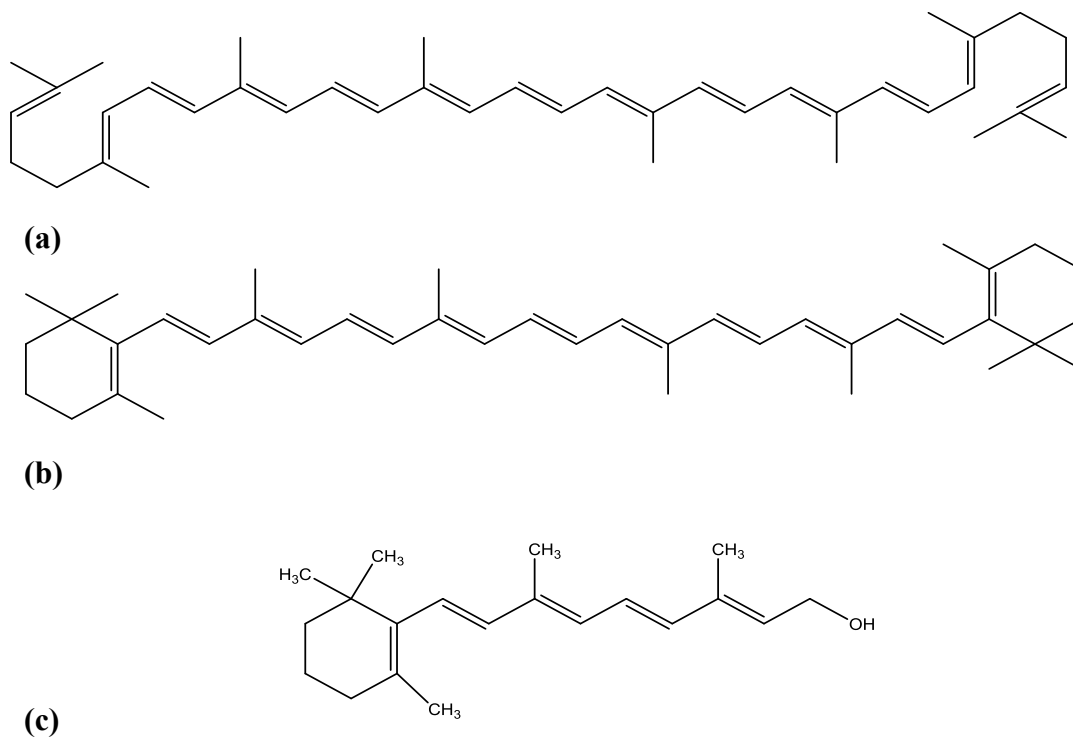


**Figura 4.** Compuestos bioactivos presentes en el tomate (Pinela et al., 2016b).

### 1.5.1 Carotenoides

Los tetraterpenos tienen 40 átomos de carbono por ser moléculas formadas por la unión de 8 unidades de isoprenílicas. El grupo más importante son los carotenoides que se caracterizan por poseer al menos 10 enlaces dobles conjugados, lo que explica su coloración amarilla o naranja, con una gran capacidad de fijar el oxígeno monomolecular durante los procesos fotoquímicos y de actuar como antioxidante (Proença da Cunha, 2005).

Los carotenoides son una clase de hidrocarburos que están unidos en un patrón de enlaces de cabeza-cola (excepto en el centro) para conferir simetría a la estructura molecular. De esta forma los dos grupos metilos centrales están relacionados en la posición 1,6- y los restantes grupos metilos no-terminales están relacionados en la posición 1,5- (**Figura 6**). La mayoría de los carotenoides derivan de una cadena de polieno de 40 carbonos que se considera como la columna vertebral de estos compuestos, esta cadena puede contener estructuras cíclicas terminales (anillos) y pueden tener grupos funcionales terminales (Pinela et al., 2016).



**Figura 5.** Estructuras químicas de (a) licopeno, (b)  $\beta$ -caroteno y (c) vitamina A.

Las largas cadenas de alquilo hacen de los carotenoides moléculas altamente lipófilas. En las plantas superiores los carotenoides se encuentran en los cloroplastos de tejidos fotosintéticos y en los cromoplastos de frutas y flores. Generalmente se encuentran en forma libre en las hojas y esterificado en otros tejidos. Estos pigmentos naturales juegan un papel central en la fotosíntesis; están envueltos en el ensamblaje de la fotosíntesis en la recolección de luz y en la protección de luz excesiva a través de la disipación de energía y la eliminación de radicales libres lo que reduce el daño de la membrana. En los seres humanos los carotenoides son parte del sistema de defensa antioxidante e interactúa de forma sinérgica con otros compuestos bioactivos. Una vez que los animales no pueden sintetizar carotenoides, estos tienen que ser incorporados a través de la dieta, siendo el tomate y los productos a base de tomate una de las fuentes más comunes de carotenoides disponibles para la población humana (Pinela et al., 2016).

Los tomates y las comidas a base de tomate representan más del 85% de las fuentes de licopeno (Palozza, Catalano, Simone, Mele, & Cittadini, 2012). El licopeno es el carotenoide más abundante en los tomates maduros que representa alrededor del 80 al 90%

de estos pigmentos (Shi, 2000). Normalmente los tomates contienen arriba de 10 mg de licopeno por cada 100 g en relación a peso fresco (Guil-Guerrero & Reboloso-Fuentes, 2009). Adicionalmente el contenido de licopeno aumenta con forme la maduración del fruto. Químicamente el licopeno es una molécula poliinsaturada (polieno) de cadena recta con 11 doble enlaces conjugados y 2 no conjugados. Por lo tanto, se puede encontrar tanto en las configuraciones “*cis*” y “*trans*” debido a la presencia de dobles enlaces. Además, su estructura lineal facilita su incorporación en algunos órganos tales como el hígado, glándulas suprarrenales y próstata, donde tiene el papel de prevenir reacciones oxidativas asociado con el brote de diferentes enfermedades (Hernandez-Marin, Galano, & Martínez, 2013)

#### **1.5.1.1 Principales propiedades físico-químicas de los carotenoides**

Los carotenoides son insolubles en agua, soluble en grasas que adquieren coloración cuando contienen xantofilas y de un modo general son solubles en solventes orgánicos. Las xantofilas no se solubilizan en éter de petróleo, por lo que los carotenos pueden ser separados de los carotenoides disolviéndolo en metanol al ser agitada esta solución metanólica con éter de petróleo. Desde el punto de vista analítico tiene gran importancia el hecho de que los carotenoides se colorean de azul con una solución clorofórmica de tricloruro de antimonio, pudiéndose distinguir en el espectro ultravioleta los carotenos de la vitamina A (Proença da Cunha, 2005).

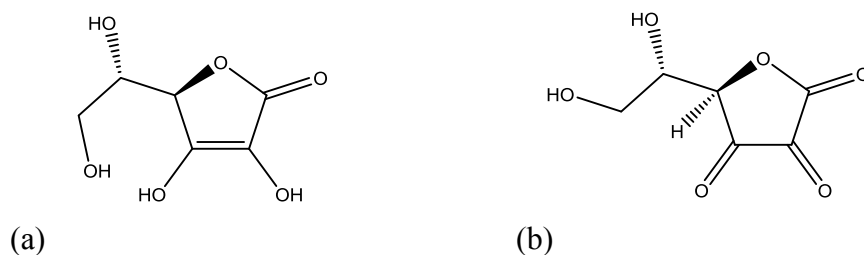
### **1.5.2 Vitaminas**

Dentro de las vitaminas que contiene el tomate se encuentra la vitamina C y E conocida por sus nombre genéricos como ácido ascórbico y tocoferoles respectivamente (Pinela et al., 2016b).

#### **1.5.2.1 Ácido ascórbico**

El ácido ascórbico posee una estructura cíclica lactónica de 6 carbonos con un 2,3 enodiol en el medio, puede encontrarse en todas las partes vivas, en partes de la plantas activas metabólicamente y en compartimientos de células (Baiano & Del Nobile, 2015). Comprende dos compuestos dotados de bioactividad: L-ácido ascórbico y ácido L-dihidroascórbico (**Figura 7**). La acidez de la molécula y su carácter reductor está ligado a

su estructura de enodiol fácilmente oxidable a una estructura bicíclica, el ácido dihidroascórbico (Bruneton, 2001). Ambos son fácilmente metabolizados por el tracto gastrointestinal y puede intercambiarse enzimáticamente *in vivo*. En sistemas biológicos, el ácido ascórbico existe como anión monovalente L-ascorbato (Sanmartin et al., 2000). Sin embargo esta vitamina es altamente susceptible a la oxidación en presencia de iones metálicos como  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$ . La oxidación también es influenciada por factores como luz, calor, pH, oxígeno y actividad del agua (Lee, Koo, & Min, 2004). Esta vitamina puede actuar como especie donadora de electrones, siendo un potente antioxidante *in vivo*; protege las lipoproteínas de baja densidad (LDL) de la oxidación causada por diferentes reacciones ligadas al estrés oxidativo e inhibe la oxidación del LDL causada por células endoteliales vasculares (Pinela et al., 2016b).



**Figura 6.** Estructura química de (a) ácido ascórbico y (b) ácido dihidroascórbico.

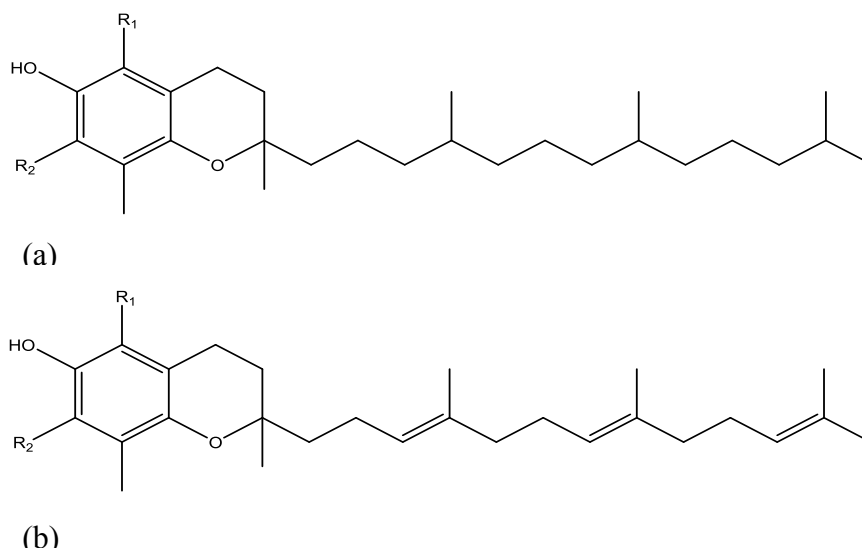
La vitamina C puede intervenir en reacciones de óxido-reducción a nivel celular y es indispensable para la hidroxilación de la prolina, por consiguiente en la elaboración y mantenimiento de la integridad del colágeno en los animales, así como de las extensinas, proteínas que intervienen en la formación de la pared celular de los vegetales. La vitamina C no es sintetizada por los primates y por lo tanto debe ser aportada al hombre en su alimentación (aporte aconsejado: 80 mg/día) (Bruneton, 2001).

### 1.5.2.2 Tocoferoles

Los tocoferoles son derivados prenilados del benzodihidropirano. Según que la cadena lateral se encuentre o no saturada, se distinguirán los tocoferoles de los tocotrienoles (**Figura 8**); en cada una de estas dos series la posición y la naturaleza de los sustituyentes determinan la existencia de cuatro compuestos diferentes ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ), el  $\alpha$ -tocoferol es mayoritario en la mayor parte de las especies (Bruneton, 2001).

Los tocoferoles difieren de los tocotrienoles en la cola alifática; los tocoferoles tienen una cadena lateral de fi-tilo unida al cromanol, mientras que la cola de los tocotrienoles contiene tres enlaces dobles *trans* en las posiciones 3', 7' y 11' y forman una cadena isoprénica. Estas insaturaciones en la cola de los tocotrienoles dan un único carbono estereoisomérico, mientras que los tocoferoles tienen 8 posibles estereoisómeros por fórmula estructural. Las diferentes isoformas difieren en los sustituyentes metilo en la cabeza del cromanol; la forma  $\alpha$  contiene tres grupos metilos, la forma  $\beta$  y  $\gamma$  contienen 2 y las formas  $\delta$  contiene un grupo metilo (Baiano & Del Nobile, 2015).

El cuerpo humano absorbe todas las formas de vitamina E, pero mantiene solamente el  $\alpha$ -tocoferol (Packer, Weber, & Rimbach, 2001). Las cantidades de tocoferoles también varían en los tomates, se han reportados valores de 0.17 a 1.44mg/100 g con respecto al peso fresco (Packer et al., 2001; Pinela, Barros, Carvalho, et al., 2012; Pinela et al., 2016b). Sin embargo, ni la vitamina C ni la vitamina E pueden ser sintetizados por los humanos, por lo cual su ingesta debe ser garantizada a través de la dieta.



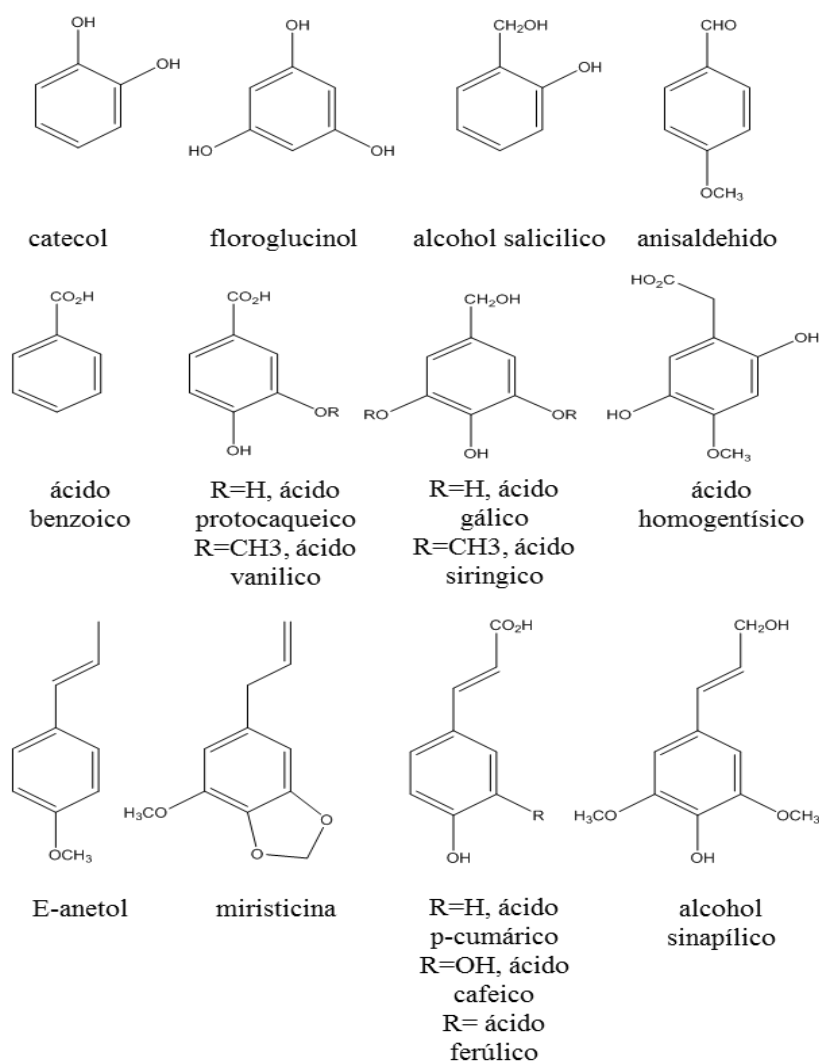
**Figura 7.** Estructuras químicas de (a) tocoferoles y (b) tocotrienoles.

### 1.5.3 Compuestos fenólicos

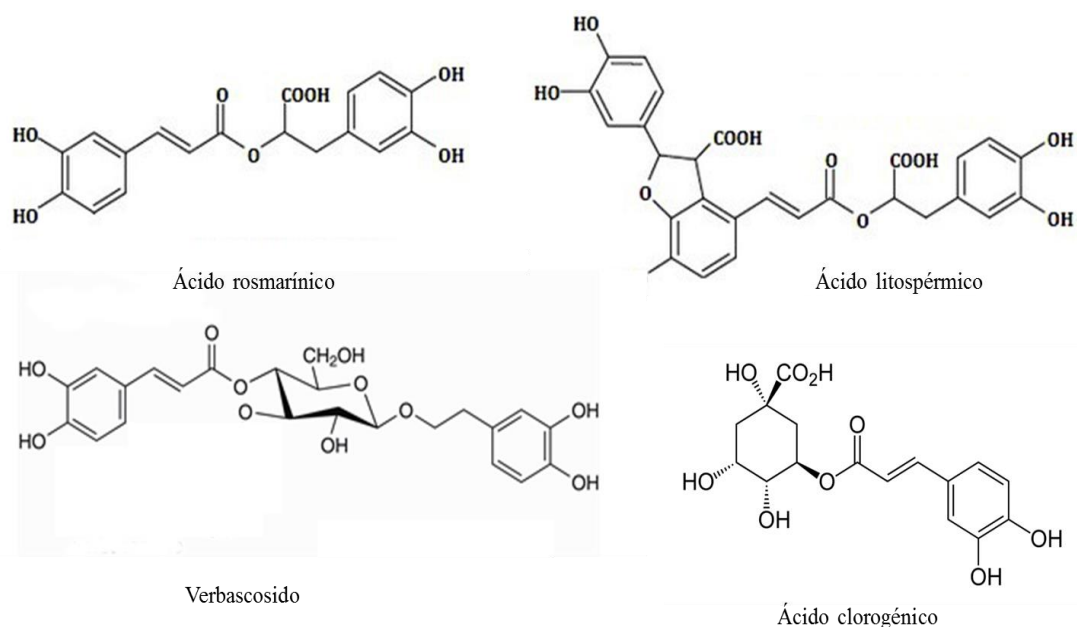
Los compuestos fenólicos están ampliamente extendidos por todo el reino vegetal, representando más de 8000 estructuras fenólicas diferentes. Tiene por lo menos un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilos unidos y que varían desde moléculas de bajo

peso molecular a estructuras grandes y complejas. Los compuestos fenólicos aparecen generalmente como ésteres y glicosidos en lugar de aparecen como compuestos libres debido a la estabilidad conferidas a estas moléculas. Los ácidos fenólicos y los flavonoides son los compuestos fenólicos más abundantes en los tomates (Barros et al., 2012), así como en la dieta (Escarpa & Gonzalez, 2001).

La denominación ácido fenólico se puede aplicar a todos los compuestos orgánicos que poseen como mínimo una función carboxílica y un hidroxilo fenólico. Normalmente en fitoquímica el empleo de esta denominación se reserva únicamente a los derivados de los ácidos benzoico (C6-C1) (**Figura 9**) y cinámico (C6-C3) (**Figura 10**) (Bruneton, 2001).

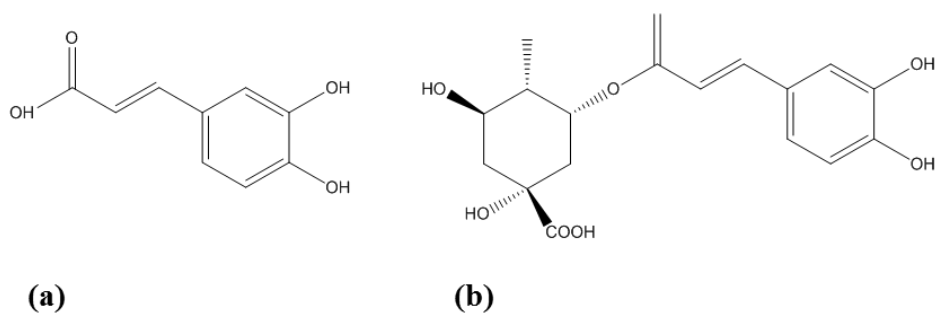


**Figura 8.** Ácidos fenólicos derivados del ácido benzoico.



**Figura 9.** Ácidos fenólicos derivados del ácido cinámico.

Los ácidos fenólicos representan un grupo de compuestos que derivan del ácido cinámico a través de la vía fenilpropanoides. La mayoría de los ácidos fenólicos en C6-C 3 (ácidos 4-cumárico, cafeico, ferúlico, sinápico) el ácido cafeico y su éster el ácido clorogénico son los ácidos fenólicos principales presentes en el tomate (**Figura 11**) y los más extensamente estudiados (Barros et al., 2012; Bruneton, 2001; Jackson & Attalla, 2010). Ambos compuestos tienen actividad antioxidante *in vitro* (Sato et al., 2011) y podría inhibir los compuestos mutagénicos y carcinogénicos (Kono, Shibata, Kodama, & Sawa, 1995). Curiosamente el mecanismo antioxidante del ácido clorogénico es análogo al licopeno.



**Figura 10.** Estructura química de (a) ácido cafeico y (b) ácido clorogénico.

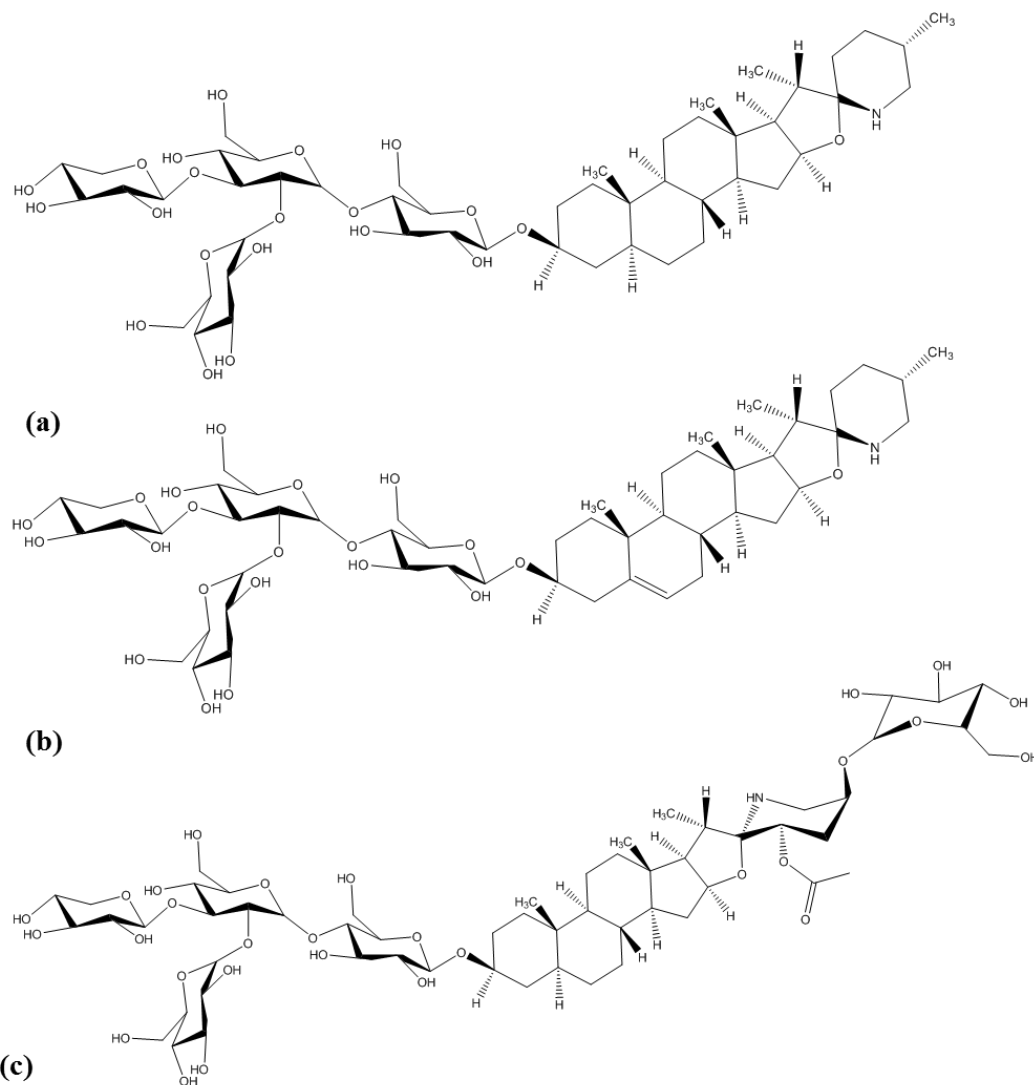
#### **1.5.4 Glicoalcaloides**

Los glicoalcaloides son metabolitos secundarios característicos en las plantas de la familia Solanaceae. Ellas están involucradas en la resistencia de las plantas y tienen efecto farmacológico y nutricional en humanos y animales. En las plantas de tomate con sintetizados, los glicoalcaloides tomatina y Esculeosido A (**Figura 12**). La tomatina comprende una unión de  $\alpha$ -tomatina y dehidrotomatina. Estructuralmente, la dehidrotomatina difiere de la  $\alpha$ -tomatina por tener un doble enlace en el anillo B esteroideal del aglicón. Sin embargo, ambos glicoalcaloides tiene el mismo tetra sacárido (licotetraosa). La  $\alpha$ -tomatina tiene la licotetraosa unida al aglicón tomatidina, mientras que la dehidrotomatina tiene la cadena lateral unida al aglicón tomatidenol (Friedman, 2013, 2015). Los tomates no maduros pueden contener hasta 500 mg/kg de peso (Friedman, 2004). Además el contenido de los tomates cherry es varias veces mayor que el de las variedades estándar de mayor tamaño. Por otro lado el contenido de Esculeosido A que se almacena en frutos maduros de tomates cultivados es comparable o superior a la del licopeno (Fujiwara et al., 2004; Nohara, Ono, Ikeda, Fujiwara, & El-Aasr, 2010; Pinela et al., 2016b).

#### **1.6 Bioactividad de los compuestos presentes en el tomate**

La bioactividad puede definirse como el efecto causado por la exposición a un ingrediente activo. Los compuestos de tomate son conocidos por su capacidad de actuar como depuradores de radicales libres en especies radicalares de oxígeno y nitrógeno (ROS/RNS). Estas especies incluyen radicales libres y otras sustancias no-radicalares también llamadas oxidantes. ROS y RNS son generadas como parte del metabolismo humano normal y su producción está comprometida por factores externos. La acumulación de estas especies en el cuerpo da lugar a un fenómeno conocido como estrés oxidativo, el cual resulta por un desbalance entre la producción y la neutralización de especies reactivas en la célula. Los principales objetivos de estas especies son proteínas, ácido desoxirribonucleico (ADN), ácido ribonucleico (ARN), lípidos y azúcares. La peroxidación lipídica es uno de los efectos más indeseables de los ROS debido a la consecuente formación de radicales libres. Este fenómeno es iniciado por el ataque a la cadena lateral de ácidos grasos con el fin de extraer un átomo de hidrogeno. El alto número de dobles enlaces en el ácido graso facilita

la remoción del átomo de hidrogeno y consecuentemente la formación del radical. Después de eso el radical puede experimentar un reordenamiento y reaccionar con el oxígeno formando el radical peróxilo. Estas especies altamente reactivas pueden extraer átomos de hidrogeno de moléculas circundantes y propagar la peroxidación lipídica formando una reacción en cadena (Carocho & Ferreira, 2013; Pham-Huy, He, & Pham-Huy, 2008).



**Figura 11.** Estructura química de (a)  $\alpha$ -tomatina, (b) dehidrotomatina y (c) Esculeosido A.

### 1.6.1 Propiedades bioactivas de los carotenoides

Los carotenoides pueden inhibir la peroxidación lipídica debido a su capacidad de actuar como disipador de radicales libres (Zhang et al., 2014). Las propiedades antioxidantes básicas de estos pigmentos la confiere la capacidad de formar cuenching por oxígeno

singlete, por el cual los carotenoides son excitados. La excitación de los carotenoides puede disipar el exceso de energía a través de una secuencia de interacciones rotacionales y vibracionales que le permite volver al estado no excitado y así disipar más radicales. De hecho, estos compuestos bioactivos son conocidos por su capacidad de depurar más eficientemente los radicales peróxidos en comparación con otros ROS (Nimse, & Pal, 2015). Sin embargo, estos radicales son los únicos que estos pigmentos pueden aniquilar (Carocho & Ferreira, 2013). Los carotenoides pueden decaer y formar compuestos no radicalares capaces de detener los ataques de radicales libres a través de su unión a estas especies radicalares (Carocho & Ferreira, 2013; Paiva & Russell, 1999).

De acuerdo con investigaciones el mecanismo de acción del licopeno incluye un rol como antioxidante, disminuyendo la oxidación del LDL y la peroxidación lipídica y disminuyendo el LDL colesterol y el colesterol total y como modulador de la respuesta inflamatoria a través de la reducción de citoquinas implicadas en enfermedades cardiovasculares. El licopeno también reduce el estrés oxidativo y la inflamación (Reifen, Nissenkorn, Matas, & Bujanover, 2004). El licopeno y el  $\beta$ -caroteno reducen la producción de productos de oxidación de colesterol LDL que están asociados con enfermedades coronarias; el  $\beta$ -caroteno también protege la piel contra el deterioro causado por la luz solar (Nimse, & Pal, 2015; Pinela et al., 2016b). El potencial antioxidante de los carotenoides esta comúnmente vinculado a su capacidad para prevenir las enfermedades desencadenadas por los radicales libres incluyendo aterosclerosis, esclerosis múltiple, degeneración muscular relacionada con la edad y las cataratas (Lee et al., 2004). De hecho, el consumo de tomates y alimentos a base de tomate se ha relacionado significativamente con una baja incidencia de cáncer de próstata (Kolberg et al., 2015).

## **1.6.2 Propiedades bioactivas de las vitaminas**

### **1.6.2.1 Propiedades bioactivas de tocoferoles**

La actividad antioxidante de los tocoferoles es conferida por el grupo cromanol. La cadena lateral de fitilo no posee actividad; esta incrustada dentro de la membrana celular mientras que el anillo activo del cromanol se encuentra posicionado muy cerca de la superficie. Este

ingenioso reordenamiento les permite a los tocoferoles actuar como poderosos antioxidantes (Lee et al., 2004; Pinela et al., 2016b). Sin embargo, la actividad de estos antioxidantes se ve afectado por su orientación dentro de la membrana. Así, los tocoferoles suspenden la peroxidación lipídica en las membranas celulares mediante la donación de un hidrogeno proveniente del anillo de cromanol a los radicales peróxilo, formando un radical tocoferoxilo no reactivo incapaz de continuar la reacción en cadena oxidativa (Morliere et al., 2012). Curiosamente los tocoferoles son los principales antioxidantes liposolubles que se en el plasma, glóbulos rojos y los tejidos (Graham W. Burton & Traber, 1990). Ellos han sido asociados con bajas incidencias de enfermedades del corazón, retraso de la enfermedad de Alzheimer y con la prevención de varios tipos de cáncer. Sin embargo los tocoferoles no son eficientes contra los radicales hidroxilos *in vivo* (Lee et al., 2004).

#### **1.6.2.2 Propiedades bioactivas del ácidos ascórbico**

La bioactividad del ácido ascórbico en conferida por el 2,3-enediol. El mecanismo antioxidante es conferido por su capacidad de donar un átomo de hidrogeno a los radicales libres, para eliminar el oxígeno molecular y evitar el movimiento de quench del oxígeno singlete. La capacidad para eliminar radicales acuosos y regenerar el  $\alpha$ -tocoferol a partir de radicales tocoferoxilo y otros radicales es bien conocida como mecanismo antioxidante de estas vitaminas (Lee et al., 2004; Niki, 2014). El ácido ascórbico es eficiente en la eliminación del radical superóxido, radicales hidroxilo, peróxido de hidrogeno y óxido de nitrógeno reactivo. Sin embargo, el ácido ascórbico también actúa como pro-oxidante, por ejemplo durante la reducción de  $Fe^{3+}$  a una especie más reactiva  $Fe^{2+}$  (Lee et al., 2004).

#### **1.6.3 Propiedades bioactivas de los compuestos fenólicos**

La capacidad antioxidante de los ácidos fenólicos proviene de su habilidad de quelar (formar quelatos) con metales de transición y de su capacidad de eliminar radicales libres, tienen un impacto significativo sobre radicales hidroxilo, peróxilo y aniones superóxido (Carocho & Ferreira, 2013). Los derivados del ácido hidroxicinámico presentan bioactividad debido a los patrones de hidroxilación y metilación del anillo aromático (Meyer, Donovan, Pearson, Waterhouse, & Frankel, 1998). El mecanismo de eliminación de radicales libres de los ácido hidroxicinámicos es análogo al de los flavonoides, lo que se

atribuye a su capacidad para donar un átomo de hidrogeno del grupo hidroxilo y la estabilización por fenómeno de resonancia de los radicales resultantes. Los o-dihidróxi sustituyentes también posee la habilidad de formar quelatos de hierro (Reifen et al., 2004).

#### **1.6.4 Compuestos bioactivos en los glicoalcaloides**

Los glicoalcaloides son percibidos como potencialmente tóxicos, pero estudios indican que también puede tener efectos promotores de la salud, dependiendo de la dosis y las condiciones de uso. Pueden ser usados como antiinflamatorio, anticancerígeno, antipirético, antinociceptivo y antimicrobiano (Milner et al., 2011). Esta bioactividad deriva de la capacidad de inhibir la acetilcolinesterasa (AChE) y la butirilcolinesterasa (BuChE), y por su capacidad de formar complejos con la membrana de los  $3\beta$ -hidroxi esteroides, el cual causa la ruptura de esta membrana. Su capacidad de inhibir la AChE y la BuChE ase que sean compuestos importantes, pero la diferencias en la pureza de los glicoalcaloides y las agliconas han afectado sus resultados (Fletcher et al., 2004; Milner et al., 2011). Sin embargo, la aglicona por si sola es prácticamente inactiva contra la enzima colinesterasa. La unidad de azúcar es requerida para ejercer la actividad, pero es la estructura de la aglicona que determina el grado de inhibición. La existencia de nitrógeno heterocíclico también es una condición necesaria para la actividad. En general la bioactividad de los glicoalcaloides aumenta cuando son administrados como mezclas (dependiendo de la proporción relativa utilizada) (Milner et al., 2011).

## 2 OBJETIVOS

Se consideró trabajar con material vegetal procedente de la colección de semillas de *Solanum lycopersicum* L. conservadas en el Banco Portugués de Germoplasma Vegetal (BPGV) originarias de diferentes regiones de Portugal. Se trata de muestras (accesos) de variedades regionales de tomate para consumo en fresco.

La conservación de estos recursos genéticos, en forma de semilla en el BPGV, es parte de una estrategia internacional de conservación que corresponde a un sistema basado en el GRIN-Global, una plataforma libre resultado de la colaboración conjunta de diferentes entidades, Global Crop Diversity Trust. Además de aplicar diversas estrategias de conservación el BPGV tiene como misión la caracterización agronómica, morfológica, bioquímica y molecular del material vegetal conservado.

Para completar la caracterización de las muestras conservadas el BPGV ha cultivado en sus campos de ensayo en Braga las plántulas provenientes de la germinación de las semillas de 14 accesos del total conservados. Los frutos de dichos accesos cosechados en Agosto del 2016 son las muestras objeto de este trabajo que pretende:

- i. Determinar el valor nutricional/valor energético y composición química (tocoferoles, azúcares libres, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos) por técnicas cromatográficas.
- ii. Evaluar la actividad antioxidante de los extractos preparados a partir de muestras de *Solanum lycopersicum* L. (tomate) recolectados mediante ensayos *in vitro*: actividad captadora de radicales libres (DPPH), poder reductor, inhibición de la peroxidación lipídica TBARS e inhibición de la decoloración de  $\beta$ -caroteno.
- iii. Verificar cuál de las muestras/variedad presenta mayor valor nutricional y mayor bioactividad a través de la comparación de los resultados.

### 3 MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Muestras y preparación de las muestras

Para la realización de este trabajo se consideró trabajar con muestras (accesos) de *Solanum lycopersicum* L. conservadas en el Banco Portugués de Germoplasma vegetal (BPGV) originarias de diferentes regiones de Portugal (**Tabla 5**). Se trata de 14 muestras de variedades de tomate para consumo en fresco, utilizadas en sistemas extensivos de agricultura familiar y cuyas semillas son guardadas por los agricultores, cada año al fin del cultivo. Tras la puesta en germinación de las semillas de los 14 accesos conservados, las plántulas se cultivaron en parcelas individuales de la finca del BPGV localizada en Braga. Los frutos de dichos accesos cultivados se cosecharon en Agosto de 2016, siendo las muestras objeto para la realización de este trabajo.

Las muestras fueron secadas por liofilización (FreeZone 4.5 model7750031, Labconco) posteriormente se pulverizaron y se mantuvieron en las mejores condiciones a -20 °C para su utilización en los diferentes análisis.

**Tabla 5.** Nombres locales y ubicación de muestras (accesos) de *Solanum lycopersicum* L.

Código	Numero de Acceso	Nombre Local	Distrito	Localización de la finca de recolección
A1	11350	Tomate de cacho liso e redondos	Lisboa	Manique do Intendente, Azambuja
A2	11363	Tomate coração-de-boi	Santarém	Arrouquelas, Rio Maior
A3	11372	Tomate	Leiria	Arrimal, Porto de Mós
A4	11400	Tomate maçã	Santarém	Amiais de Baixo, Santarém
A5	11681	Tomate	Santarém	Bemposta, Abrantes
A6	11696	Tomate redondo	Santarém	São José da Lamarosa, Coruche
A7	11907	Tomate cabecinhas	Portalegre	Aldeia Velha, Avis
A8	12506	Tomate coração-de-boi	Santarém	Santarém
A9	12954	Tomate coração-de-boi	Aveiro	Válega, Ovar
A10	12465	Tomate sem varas	Bragança	Peredo da Bemposta, Mogadouro
A11	11098	Tomate maçã	Lisboa	Manique do Intendente, Azambuja
A12	11465	Tomate vermelho	Santarém	Carvoeiro, Mação
A13	11803	Tomate grosso	Portalegre	Santa Maria de Marvão
A14	16388	Tomate salada	Castelo Branco	Proença-a-Nova

### 3.2 Patrones y reactivos

Los solventes acetonitrilo 99,9 %, n-hexano y acetato de etilo 99,98%, de grado HPLC, fueron adquiridos por Lab-Scan. La mezcla patrón con 37 esterres metílicos de ácidos grasos (FAME) (norma 47885-U) fueron adquiridos en Sigma, así como los otros isómeros individuales de ácidos grasos, ácido L-ascórbico, patrones de tocoferoles (isoformas  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - y  $\delta$ -), patrones de azúcares (D(-)-fructosa, D(+)-glucosa anhidra, D(+)-melositis hidratada, D(+)-sacarosa y D(+)-trealosa) y patrones utilizados en los ensayos de actividad antioxidante (trolox: ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico, ácido cafeico, ácido clorogénico y quercetina deshidratada). El tocol racémico, 50 mg/mL fue adquirido en la Matreya. El 2,2-difenil-1-picril-hidrazilo (DPPH) fue obtenido en Alfa Aesar. Todos los otros productos químicos y solventes usados eran de grado analítico y fueron adquiridos de fuentes comunes. El agua usada para los análisis era de grado analítico adquirido de fuentes comunes, tratada con un sistema de purificación Milli-Q (TGI Pure Water System).

### 3.3 Valor energético

Para evaluar el poder energético de las muestras se cuantificó la humedad, proteínas, lípidos los glúcidos y las cenizas, siguiendo los procedimientos oficiales de análisis según el AOAC (AOAC, 2016)

La humedad fue determinada a través de la diferencia entre la masa de la planta fresca y la masa de la plantas después del secado. Los resultados fueron expresados en g por 100 g de masa fresca (mf).

Las proteínas totales ( $N \times 6,25$ ) fueron estimadas por el método de macro-Kjeldahl, utilizando 0,5 g de muestra. Este método permite evaluar el contenido en nitrógeno total de origen orgánico. Los resultados fueron expresados en g por 100 g de masa fresca.

Los lípidos totales fueron determinados después de una extracción con masa conocida de muestra seca y pulverizada (3 g) con éter de petróleo, durante 7 h, usando el aparato de extracción Soxhlet. El solvente orgánico (éter de petróleo) extrajo los lípidos que fueron cuantificados a través de la determinación del peso de residuo después de eliminar el solvente. Los resultados fueron expresados en g por 100 g de masa fresca.

El contenido de cenizas fue determinado después de incinerar la muestra en una mufla a  $600 \pm 15$  °C. Las muestras secas y pulverizadas (250 mg) fueron colocadas en capsulas de porcelana, previamente calcinado y pesados, los cuales permanecieron en la mufla hasta que la materia orgánica se incinerara totalmente. La diferencia entre la masa inicial y la masa después de la incineración proporciono la masa de cenizas. Los glúcidos fueron calculados por la diferencia y los resultados fueron expresados en g por 100 g de masa fresca.

La energía total fue calculada de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Energía (kcal)} = 4 \times (\text{g proteínas} + \text{g glúcidos}) + 9 \times (\text{g lípidos})$$

Los resultados fueron expresados en kcal por 100 g de masa fresca.

### **3.4 Composición química**

#### **3.4.1 Composición de azúcares**

Los azúcares fueron determinados a partir de material seco. A la muestra (1 g) se le adiciono 1 mL de estándar interno melositolosis (, 25 mg/mL), seguidamente se extrajo con etanol 80% (40 mL) en un baño a 80 °C durante 1h 30 min, agitando cada 15 min. Al terminar el proceso se procedió a filtrar para un balón y se evaporo para remover el etanol (evaporador rotativo Büchni-210). Posteriormente se lavó la fase acuosa 3 veces con éter etílico (10 mL). Se perfaze la solución de extracto hasta un volumen de 5 mL con agua destilada, se filtra a un vial y se analiza por cromatografía.

Los azúcares libre fueron analizados y determinados por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) acoplado a un detector de índice de refracción (HPLC-RI). El análisis fue efectuado por HPLC (equipo descrito anteriormente) utilizando un detector de índice de refracción (Knauer Smartline 2300). La separación cromatográfica fue conseguida en una columna C<sub>18</sub> de fase reversa Eurospher 100-5 NH<sub>2</sub> (5 µm, 250 x 4.6 mm, Knauer) operando a 35 °C (7971 R Grace oven). La fase móvil utilizada fue acetonitrilo/ agua desionizada 70:30 (v/v) con flujo de 1 mL/min. Los compuestos fueron identificados por comparación cromatográfica con estándares. La cuantificación fue efectuada utilizando el método de

estándar interno; la melositolina fue el estándar interno utilizado. Los resultados fueron expresados en g por 100 g de masa fresca.

### **3.4.2 Composición en ácidos orgánicos**

Los ácidos orgánicos fueron determinados a partir de material seco. Se realizó una extracción de muestra (1,5 g) con ácido metafosfórico (4,5% en agua, 25 mL, 25°C, 150 rpm) se filtró en papel Whatman n°4. Antes de analizar la muestra por cromatografía líquida ultra rápida (UFLC) acoplada a un detector de fotodiodos (PDA- Photodiode array detector), la muestra fue nuevamente filtrada en filtros de nylon de 0,2 µm.

El análisis fue efectuado utilizando un cromatógrafo Shimadzu 20A series UFLC (Shimadzu Corporation). La separación fue lograda utilizando una columna SphereClone C<sub>18</sub> de fase reversa (5 µm, 250 x 4.6 mm, Phenomenex) a 35 °C. La elución fue efectuada con ácido sulfúrico (3.6 mM) utilizando un flujo de 0.8 mL/min. La detección fue efectuada por un detector de fotodiodos, utilizando longitudes de onda preferencialmente de 215 y 245 nm (para ácido ascórbico). Los ácidos orgánicos fueron cuantificados por comparación de áreas de sus picos con curvas de calibración obtenidas de estándares comerciales de cada uno de los compuestos. Los resultados fueron expresados en mg por 100 g de masa fresca.

### **3.4.3 Ácidos grasos**

Los ácidos grasos fueron determinados por cromatografía gaseosa con detector de ionización de llama (GC-FID), equipado con una columna capilar, como fue descrito anteriormente (Batista, Barros, Carvalho, & Ferreira, 2011). Las muestras secas y pulverizadas (3 g) fueron transferidos para cartuchos de Soxhlet y extraídas con éter de petróleo, durante 7 h. Después de evaporar el solvente, los residuos obtenidos fueron sometidos a un proceso de derivatización con 5 mL de metanol: ácido sulfúrico: tolueno 2:1:1 (v/v/v) durante por lo menos 12 h en un baño a 50 °C y a 160 rpm. Seguidamente se adicionó 3 mL de agua desionizada para obtener una separación de 2 fases. La mezcla FAME fue recuperada con 3 mL de éter dietílico por agitación en vórtex y el agua fue eliminada con sulfato de sodio anhidro. La muestra se trasladó a un vial con teflón y antes de ser inyectado, se filtró la muestra con un filtro de nylon de 0,2 µm de Milipore.

El análisis fue llevado a cabo en un sistema GC modelo DANI 1000 equipado con un inyector split/splitless y un detector de ionización de llama (FID) a 260 °C. La separación fue hecha con una columna Macherey-Nagel (50% cianopropil-metil-50% fenilmetilpolysiloxano, 30 m x 0.32 mm i.d. x 0.25 µm). La temperatura del horno fue programada de la siguiente manera: la temperatura inicial de la columna fue 50 °C durante 2 min, luego 30 °C/min hasta los 125 °C, luego 5 °C hasta los 160 °C, 20 °C/min hasta los 180 °C, 3 °C/min hasta los 200 °C, 20 °C/min hasta los 220 °C and mantenido por 15 min. El gas portador fue hidrogeno con un flujo de 4.0 mL/min (0.61 bar). La inyección split fue realizada a 250°C.

La identificación de los ácidos grasos fue realizada por comparación de los tiempos de retención de los picos FAMES de las muestras con padrones. Los resultados fueron grabados y procesados usando el Software CSW 1.7 (DataApex 1.7) y expresados en porcentaje relativo de cada ácido graso.

#### **3.4.4 Composición en tocoferoles**

Los tocoferoles fueron determinados a partir de material seco. A la muestra (500 mg) se adiciono una solución de Butil-hidroxitolueno (BHT, antioxidante) en hexano (10 mg/mL, 0,10 mL) y una solución de tocol (estándar interno) en hexano (50 µg/mL). La muestra fue homogenizada con metanol (4 mL) en el vortex (1 min). Seguidamente se adiciono hexano (4 mL) homogenizando nuevamente utilizando el vortex (1 min). Posteriormente se adiciono una solución acuosa concentra da cloruro de sodio (2 mL) seguidamente se homogenizo la muestra (1 min) y se centrifugo (5 min, 4000g, 10°C). El sobrenadante resultante de la centrifugación fue transferido a un vial previamente envuelto con papel plata. La muestra se re-extrajo dos veces más con hexano. Al extracto final se le adiciono sulfato de sodio anhidro, y se colocó sobre corriente de nitrógeno hasta que se seque completamente, posteriormente se redisolvió en hexano (2 mL), filtrado con un filtro descartable LC de 0,22 µm y transferido a un vial ámbar.

El equipo en el que se realizó el análisis consiste en un sistema integrado con una bomba (Knauer, Smartline system 1000), sistema de desgasificación (Smartline manager 5000), muestreador automático (Jasco AS-2057) y equipado con un detector de fluorescencia

(Jasco FP-2020) programado para excitar a 290 nm y emitir a 220 nm. La separación cromatográfica fue conseguida a través de una columna de Poliamida II de fase normal (250 x 4.6 mm, 5µm, YMC Waters) operando a 30 °C (7971 R Grace oven). La fase móvil utilizada fue una mezcla de n-hexano y acetato de etilo (70:30, v/v) con un flujo de 1 mL/min y el volumen de inyección fue de 10 µL. Los compuestos fueron identificados por comparación cromatográfica con estándares auténticos. La cuantificación fue efectuada en base a las curvas de calibración obtenidas a partir de los estándares comercializados de cada compuesto utilizando la metodología del estándar interno; el tocol racémico fue usado como estándar interno. Los resultados fueron expresados en µg por 100 g de masa fresca.

### 3.4.5 Pigmentos

Los pigmentos β-caroteno, licopeno y clorofila a y clorofila b fueron determinados siguiendo el procedimiento previamente descrito por Nagata & Yamashita (Nagata & Yamashita, 1992). Las muestras secas y pulverizadas (500 mg) fueron agitas vigorosamente en 10 mL de una mezcla de acetona-hexano (4:6 v/v) durante 1 min y filtradas a través de papel filtro Whatman n°4. La absorbancia del filtrado fue medida a 453, 505, 645 y 663 nm. El contenido en β- caroteno, licopeno y clorofilas ha y b fueron calculadas con las siguientes ecuaciones:

$$\beta\text{-caroteno (mg/100mL)} = 0,216 \times A_{663} - 1,220 \times A_{645} - 0,304 \times A_{505} + 0,452 \times A_{453}$$

$$\text{Licopeno (mg/100mL)} = -0,0458 \times A_{663} + 0,204 \times A_{645} + 0,304 \times A_{505} - 0,0452 \times A_{453}$$

$$\text{Clorofila a (mg/100mL)} = 0,999 \times A_{663} - 0,0989 \times A_{645}$$

$$\text{Clorofila b (mg/100mL)} = -0,328 \times A_{663} + 1,77 \times A_{645}$$

Los resultados fueron expresados en mg por 100 g de masa fresca.

### 3.4.6 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos fueron determinados a partir de material seco. La muestra de material seco (1 g) fue extraído con 30 mL una mezcla de etanol/agua 80:20 (v/v) a 150

rpm durante 1h. El extracto fue filtrado y el residuo fue re-extraído más una vez. Los extractos combinados fueron evaporados a 35 °C hasta remover completamente el etanol, la fase acuosa fue posteriormente purificada. Para la purificación, se hizo pasar las soluciones de extracto (fase acuosa) en un cartucho C-18 SepPak<sup>®</sup> Vac 3 cc (Phenomenex), previamente activado con metanol y, posteriormente agua; los azúcares y las sustancias más polares fueron removidas pasando 15 mL de agua y los compuestos fenólicos fueron eluidos con 5 mL de etanol. Los extractos purificados fueron concentrados, re-disueltos en 2 mL de etanol acuoso 20% y después, filtrados a través de discos LC descartables 0,22- $\mu$ m.

El análisis de los compuestos fenólicos fue efectuada por HPLC (Dionex Ultimate 3000 UPLC, Thermo Scientific), equipado con una bomba cuaternaria, con doble detección online llevada a cabo por un detector de arreglo de diodos (DAD) usando las longitudes de onda de 280 nm e 370 nm preferencialmente, y un espectrómetro de masas (MS) (Espectrofotómetro de masas con trampa de iones lineal LTQ XL, ThermoFinnigan,) conectado a un sistema HPLC (Guimarães et al., 2013). Se utilizó una columna de fase reversa Waters Spherisorb S3 ODS-2 C18 (4,6 x 150 mm, 3  $\mu$ m) termostata a 35°C. La fase móvil utilizada fue (A) ácido fórmico/agua (0,1%) y (B) acetonitrilo. El gradiente de elución establecido fue iniciando con 15% B 5 min, aumentado a 15-20% B por 5 minutos más, 20-25% B por 10 min, 25-35% B por 10 min y finalmente 35-50%B por 10 min, se usó un flujo de 0.5 mL/min.

La detección de MS se realizó en modo negativo, usando un espectrofotómetro de masas LTQ XL con trampa de iones lineales (ThermoFinnigan, San José, CA, USA) equipado con una Fuente ESI. El nitrógeno sirvió como gas de envoltura (50 psi); el Sistema fue operado con un voltaje de pulverización de 5kV, una Fuente de temperatura de 325°C, un voltaje capilar de -20 V. El desplazamiento de la lente del tubo se mantuvo a un voltaje de -66 V. El análisis completo cubrió el rango de masa desde m/z 100 a 1500. La energía de colisión usada fue 35 (unidades arbitrarias). La adquisición de datos se llevó a cabo con el Sistema de datos Xcalibur<sup>®</sup> (ThermoFinnigan, San José, CA, EE.UU).

Los compuestos fenólicos fueron identificados comparando sus tiempos de retención, espectros de más y de UV-Vis con los obtenidos a partir de patrones, siempre que estén disponibles. De otra forma, la tentativa de identificación fue realizada por comparación de

los valores obtenidos con la información de datos disponibles en la literatura. Para la cuantificación, fue realizada una curva de calibración para cada uno de los patrones de compuestos fenólicos existentes, con base a la señal UV-Vis. Para la identificación de los compuestos fenólicos para los cuales no estaban disponibles los patrones comerciales, la cuantificación fue llevada a cabo a partir de una curva de calibración de otros compuestos del mismo grupo fenólico. Los resultados fueron expresados en  $\mu\text{g}$  por 100 g de masa fresca.

### **3.5 Evaluación in-vitro de las propiedades antioxidantes**

#### **3.5.1 Preparación de los extractos**

Las muestras secas pulverizadas (20 mesh; ~1 g) fueron sometidas extracción sólido-líquido con agitación con una mezcla de 30 mL de etanol:agua (80:20) a temperatura ambiente en una placa de agitación a 150 rpm durante 1 h, posteriormente filtradas a través de papel Whatman n.º 4. El residuo obtenido fue re-extraído con una porción adicional 30 mL de etanol:agua en las mismas condiciones anteriormente referidas. Los extractos hidroalcohólico combinados fueron evaporados a 35 °C a presión reducida (evaporador rotativo Büchi R-210) se congelaron las muestras y se llevaron al liofilizador (FreeZone 4.5 model7750031, Labconco). Se re disolvieron las muestras en la mezcla antes descritas a fin de obtener una concentración final de 50 mg/mL (solución stock). Posteriormente a partir de la solución stock se prepararon soluciones hidroetánolicas con diferente concentraciones, a través de diluciones sucesivas para la realización de ensayos *in vitro* (Barros, Cabrita, Boas, Carvalho, & Ferreira, 2011) para la evaluación de las propiedades antioxidantes. Las concentraciones de extracto proporcionaran el 50% de la actividad antioxidante o 0,5 de absorbancia ( $EC_{50}$ ) fueron calculadas a partir de los gráficos de los porcentajes de actividad antioxidante (ensayo de DPPH, inhibición de la decoloración de  $\beta$ -caroteno y TBARS) o de la absorbancia a 690 nm (ensayo de poder reductos) en función de extracto. Utilizando trolox como patrón.

### 3.5.2 Actividad Captadora de radicales 2,2-difenil-1picril-hidrazilo (DPPH)

La actividad captadora de radicales de DPPH fue realizada utilizando en lector de microplaca ELX800 (Bio-Tek instruments, Inc; Winooski, VT, EUA). La mezcla de la reacción en cada uno de los 96 posos, consistió en las diferentes soluciones de distintas concentraciones de los extractos (30  $\mu\text{L}$ ) a las cuales se les adiciono una solución metanólica (270  $\mu\text{L}$ ) conteniendo radicales DPPH ( $6 \times 10^{-5}$  mol/L). La mezcla fue dejada en reposo por 60 min en la oscuridad. La reducción del radical DPPH fue determinada por la medición de la absorbancia a 515 nm. (Pinela, Barros, Dueñas, et al., 2012) La actividad captadora de radicales (ACR) fue calculada por el porcentaje de decoloración de la solución de DPPH, usando la ecuación

$$\%ACR = \frac{A_{DPPH} - A_S}{A_{DPPH}} \times 100$$

Dónde:  $A_S$  corresponde a la absorbancia de la solución de DPPH en presencia de las diferentes concentraciones de extracto y  $A_{DPPH}$  es la absorbancia del blanco (solución de DPPH más solvente de extracción (etanol:agua 80:20, v/v) en vez de la solución de extracto). La concentración de extracto provee el 50% de la actividad captadora de radicales ( $EC_{50}$ ) fue calculada a partir del porcentaje de ACR contra la concentración de extracto.

### 3.5.3 Poder reductor

Esta metodología fue realizada utilizando el Lector de Microplacas descrito anteriormente. Las diferentes soluciones de extractos de diferentes concentraciones (0,5 mL) fueron mezcladas con buffer fosfato de sodio (200 mmol/L, pH 6,6, 0,5 mL) y con ferricianato de potasio (1% w/v, 0,5 mL). La mezcla fue incubada a 50 °C durante 20 min. Pasado el tiempo se le adiciono ácido tricloroacético (10% w/v, 0,5 mL). La mezcla (0,8 mL) fue colocada en una microplaca de 48 posos juntamente con agua desionizada (0,8 mL) y cloruro de hierro (0.1%, w/v, 0,16 mL), se procedió a realizar la lectura de la microplaca en el equipo antes descrito la absorbancia fue medida a 690 nm (Pinela, Barros, Dueñas, et al.,

2012). Fue preparado un blanco con solvente de extracción (etanol:agua 80:20, v/v) en vez de solución de extracto, La concentración de extracto que proporciono 0,5 de la absorbancia ( $EC_{50}$ ) fue calculada a partir de la absorbancia a 690 nm contra la concentración de extracto.

### 3.5.4 Inhibición de decoloración de $\beta$ -caroteno

Se preparó una solución de  $\beta$ -caroteno disolviendo este compuesto (2 mg) en cloroformo (10 mL). Se transfirieron 2 mL de esta solución a un balón fondo redondo y se removió el cloroformo a 40°C, sobre condiciones de vacío. Posteriormente se adiciono ácido linoleico (40 mg), emulsionante Tween 80 (400mg) y agua destilada (100 mL), agitando vigorosamente hasta formar una emulsión. Se transfirieron alícuotas (4,8 mL) de esta emulsión para tubos de ensayo conteniendo soluciones de diferentes concentraciones de los extractos (0,2 mL). Luego de adicionar la emulsión a todos los tubos se agitaron con ayuda de vortex y se determinó la absorbancia a tiempo cero de cada uno de los tubos a una longitud de onda de 470 nm (espectrofotómetro AnalytikJena). Seguidamente fueron incubados en un baño a 50°C durante 2 h. Pasado ese tiempo se determinó nuevamente la absorbancia a 470 nm (Pinela, Barros, Dueñas, et al., 2012). Fue preparado un blanco con solvente de extracción (etanol:agua 80:20, v/v) en vez de utilizar solución de extracto. La inhibición de  $\beta$ -caroteno fue calculada utilizando la siguiente ecuación:

$$\%Decoloración = \frac{A_{470pasadas\ 2h}}{A_{470\ inicial}} \times 100$$

La concentración de extracto que proporciono el 50% de la actividad antioxidante ( $EC_{50}$ ) fue calculado a partir del porcentaje de inhibición de  $\beta$ -caroteno contra la concentración de extracto.

### 3.5.5 Inhibición de peroxidación lipídica utilizando sustancias reactivas de ácido tiobarbiturico (TBARS)

Para la realización de este ensayo, se utilizó tejido cerebral, obtenido a partir de cerdo (*Sus scrofa*), que fue disecado y homogenizado en hielo con solución buffer Tris-HCl (20 mM, pH 7,4) con el fin de producir una homogenización de tejido cerebral en una proporción 1:2 (w/v) luego se centrifugo (centrifuga refrigerada Centorion K24OR) a 3000g durante 10 min. Se incubo una alícuota (0,1 mL) de sobrenadante con las soluciones de diferentes concentraciones de extractos (0,2 mL), en presencia de FeSO<sub>4</sub> (10 μM; 0,1 mL) y ácido ascórbico (0,1 mM; 0,1 mL) a 37 °C durante 1h. La reacción es interrumpida por la adición de ácido tricloroacético (28% w/v; 0,5 mL), a continuación se adiciono ácido tiobarbiturico (TBA; 2%, w/v; 0,38 mL). La mezcla se calentó a 80 °C durante 20 min luego se centrifugo a 3000g durante 10 min, para sedimentar el precipitado de proteínas, la intensidad del color del complejo de malonaldeido formado (MDA)-TBA fue medido a través de la medición de su absorbancia a una longitud de onda de 532 nm (Pinela, Barros, Dueñas, et al., 2012). Fue preparado un blanco con buffer tris-HCl en lugar de solución de extracto. El porcentaje de inhibición de peroxidación lipídica fue calculada utilizando la siguiente formula:

$$\%Inhibición = \frac{(A - B)}{A} \times 100\%$$

Donde A y B corresponden a la absorbancia del blanco y de la solución con el extracto respectivamente. La concentración de extracto que proporcionó el 50% de la inhibición de peroxidación lipídica (EC<sub>50</sub>) fue calculada a partir del porcentaje de inhibición de TBARS contra la concentración de extracto.

### 3.6 Análisis estadístico

Se utilizaron tres repeticiones de las muestras y se realizaron triplicados para cada lectura de concentración en todos los ensayos. Los resultados fueron expresados en valores medios ± desviación estándar (SD). Los resultados fueron analizados usando análisis de varianza de una vía (ANOVA) seguidos de test de Tukey's HSD p = 0.05.

#### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del estudio del valor nutricional (proteínas, lípidos, glúcidos, humedad y cenizas) y del valor energético de las variedades de *Solanum lycopersicum* L. se muestran en la **Tabla 6**.

Los carbohidratos son los macronutrientes más abundantes en todas las variedades, siendo el mayoritario en la muestra A5 (5,42 g/100 g), seguido de A4 (5,10 g/100 g) y A7 (5,09 g/100 g). El segundo macronutriente más abundante son las proteínas, siendo los mayoritarios A1 (0,16 g/100 g) y A5 (0,17 g/100 g). Las variedades que presentan el mayor contenido de grasa son A7 (0,08 g/100 g), A10 (0,09 g/100 g), A12 (0,08 g/100 g), A14 (0,09 g/100 g). El mayor porcentaje de humedad lo presentaron las muestras A8 (95,6 g/100 g), A9 (95,4 g/100 g), A11 (95,3 g/100 g), A13 (95,1 g/100 g). El mayor contenido en cuanto a cenizas lo presenta la muestra A14 (0,650 g/100 g) y la que presenta mayor valor energético es A5 (22,98 kcal/100 g).

Los porcentajes de humedad encontrados en las muestras de tomate portuguesas al ser comparadas con los valores reportados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) presentados en la **Tabla 1**, son similares; sin embargo hay diferencia de los valores de proteínas y grasas que en las variedades portuguesas son menores. En cuanto a carbohidratos y valor energéticos las variedades portuguesas presentan mayores valores. Estas diferencias se deben probablemente a los distintos componentes y nutrientes de los suelos donde son cultivados (Dumas, Dadomo, Di Lucca, & Grolier, 2003; Moco et al., 2007; Peng, Zhang, & Ye, 2008).

Las muestras de tomate presentan altos contenidos en humedad y carbohidratos, bajo contenido en proteínas y grasas y un bajo aporte energético, lo que las hace ideales para su incorporación en dietas de bajas calorías.

**Tabla 6:** Estudio de valor nutricional de las muestras de *S. lycopersicum* (media  $\pm$  SD).

Muestras	Humedad (%)	Cenizas (g/100 g fw)	Proteínas (g/100 g fw)	Grasas (g/100 g fw)	Carbohidratos (g/100 g fw)	Energía (kcal/100 g fw)
A1	94,4 $\pm$ 0,7b	0,47 $\pm$ 0,02cd	0,16 $\pm$ 0,01ab	0,050 $\pm$ 0,001e	4,92 $\pm$ 0,01c	20,78 $\pm$ 0,05d
A2	94,8 $\pm$ 0,4b	0,453 $\pm$ 0,001de	0,096 $\pm$ 0,002i	0,050 $\pm$ 0,001e	4,60 $\pm$ 0,01e	19,21 $\pm$ 0,02f
A3	94,4 $\pm$ 0,1b	0,49 $\pm$ 0,01c	0,120 $\pm$ 0,002gh	0,057 $\pm$ 0,001de	4,91 $\pm$ 0,01c	20,63 $\pm$ 0,04e
A4	94,3 $\pm$ 0,3b	0,41 $\pm$ 0,03gh	0,117 $\pm$ 0,005h	0,0600 $\pm$ 0,0004cde	5,10 $\pm$ 0,03b	21,41 $\pm$ 0,08c
A5	93,9 $\pm$ 0,8b	0,45 $\pm$ 0,03def	0,17 $\pm$ 0,003a	0,070 $\pm$ 0,002bc	5,42 $\pm$ 0,02a	22,98 $\pm$ 0,07a
A6	94,4 $\pm$ 0,2b	0,430 $\pm$ 0,004efg	0,140 $\pm$ 0,001def	0,0600 $\pm$ 0,0004cde	4,94 $\pm$ 0,01c	20,87 $\pm$ 0,02d
A7	94,3 $\pm$ 0,3b	0,420 $\pm$ 0,001fgh	0,143 $\pm$ 0,002cde	0,080 $\pm$ 0,002ab	5,09 $\pm$ 0,01b	21,65 $\pm$ 0,01b
A8	95,6 $\pm$ 0,5a	0,39 $\pm$ 0,01h	0,130 $\pm$ 0,004fg	0,063 $\pm$ 0,002cd	3,81 $\pm$ 0,01j	16,31 $\pm$ 0,02j
A9	95,4 $\pm$ 0,6a	0,36 $\pm$ 0,03i	0,100 $\pm$ 0,002i	0,053 $\pm$ 0,004de	4,10 $\pm$ 0,02i	17,28 $\pm$ 0,09i
A10	94,8 $\pm$ 0,1b	0,48 $\pm$ 0,01cd	0,133 $\pm$ 0,003ef	0,09 $\pm$ 0,01a	4,46 $\pm$ 0,01f	19,16 $\pm$ 0,04f
A11	95,3 $\pm$ 0,3a	0,480 $\pm$ 0,003cd	0,100 $\pm$ 0,0004i	0,053 $\pm$ 0,001de	4,08 $\pm$ 0,01i	17,22 $\pm$ 0,04i
A12	94,8 $\pm$ 0,3b	0,610 $\pm$ 0,004b	0,153 $\pm$ 0,006bc	0,080 $\pm$ 0,001ab	4,36 $\pm$ 0,01g	18,78 $\pm$ 0,02g
A13	95,1 $\pm$ 0,2a	0,50 $\pm$ 0,01c	0,1200 $\pm$ 0,0003gh	0,060 $\pm$ 0,001cde	4,23 $\pm$ 0,01h	17,93 $\pm$ 0,03h
A14	94,3 $\pm$ 0,8b	0,650 $\pm$ 0,005a	0,15 $\pm$ 0,002bcd	0,09 $\pm$ 0,01a	4,85 $\pm$ 0,01d	20,82 $\pm$ 0,03d

En cada columna, diferentes letras significan diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ( $p < 0,05$ ).

## 4.1 Composición química

### 4.1.1 Azúcares y ácidos orgánicos

Se identificaron tres azúcares libres (**Tabla 7**) en el siguiente orden fructosa > glucosa > sacarosa. Fructosa se encontró mayoritariamente en las muestras A3 (2,53 g/100 g), A5 (2,47 g/100 g), A7 (2,49 g/100 g). Glucosa se encontró en mayor proporción en la muestra A5 (1,83 g/100 g) y finalmente sacarosa se encuentra en mayor cantidad en la muestra A1 (0,030 g/100 g).

El mayor contenido total de azúcares fue para A5 siendo en su mayoría fructosa y glucosa (4,30 g/100 g) y no se detectó sacarosa.

Se identificaron cuatro ácidos orgánicos (**Tabla 7**), ácido oxálico, málico, ascórbico y cítrico. Las muestras A1 (46 mg/100 g) y A8 (89 mg/100 g) fueran las que presentan una mayor concentración de ácido oxálico. El proceso de cocción pueden disminuir el contenido de ácido orgánicos en las muestras (García-Herrera et al., 2014; Guerrero, 1998) por lo que es recomendable que personas susceptible a la formación de cálculos renales de oxalato de calcio, utilizar este tipo de proceso para administrar alimentos con elevado contenido en este ácido orgánico.

La muestra que presento la mayor cantidad de ácido málico es la A12 (218 mg/100 g) y la que presenta menor cantidad fue A5 (23,5 mg/100 g). El mayor contenido de ácido cítrico pertenece a la muestra A10 (592 mg/100 g) y el menor contenido a las siguientes A7 y A13 (227 mg/100 g para cada una de ellas). El ácido cítrico fue el compuesto mayoritario en las muestras de tomate. Tanto el ácido málico y el ácido succínico juegan un importante rol en el ciclo de Krebs, siendo esenciales para el metabolismo humano, pero tienen otras aplicaciones como la de ácido cítrico que es un cristal que ayuda al espesamiento de los huesos (Carocho et al., 2013).

En cuanto al ácido ascórbico que posee una acción antioxidante la mayor concentración fue encontrada en la variedad A4 (27,4 mg/100 g) y A6 (23,2 mg/100 g). El rol del ácido ascórbico en la prevención de enfermedades relacionadas al estrés oxidativo consiste en la neutralización de la acción de los radicales libres en los sistemas biológicos (Borguini &

Ferraz Da Silva Torres, 2009). Los valores de ácido ascórbico presentados en la **Tabla 1** en contraste con los valores obtenidos se observa que la mayoría de las muestras están encima del valor reportado a excepción de las muestras A1 (10,9 mg/100 g), A3 (7,4 mg/100 g), A10 (6,7 mg/100 g), A12 (11,6 mg/100 g) y A14 (6,49 mg/100 g).

**Tabla 7: Composición en azúcares (g/100 g mf) y ácidos orgánicos (mg/100 g mf) de *S. lycopersicum* (media  $\pm$  SD).**

	Fructosa	Glucosa	Sacarosa	Azúcar Total	Ac. Oxálico	Ac. málico	Ac. ascórbico	Ac. cítrico	Total ácidos orgánicos
A1	2,120 $\pm$ 0,001cd	0,62 $\pm$ 0,04g	0,030 $\pm$ 0,001a	2,76 $\pm$ 0,04g	46 $\pm$ 1b	57 $\pm$ 2e	10,9 $\pm$ 0,3j	356,8 $\pm$ 0,2f	470 $\pm$ 1e
A2	2,360 $\pm$ 0,001b	1,42 $\pm$ 0,01c	0,0100 $\pm$ 0,0004b	3,79 $\pm$ 0,01c	24 $\pm$ 1fg	86 $\pm$ 3c	22,6 $\pm$ 0,5c	461 $\pm$ 6c	594 $\pm$ 8b
A3	2,53 $\pm$ 0,02a	1,580 $\pm$ 0,004b	0,0100 $\pm$ 0,0004b	4,11 $\pm$ 0,02b	35,1 $\pm$ 0,6c	186 $\pm$ 1b	7,4 $\pm$ 0,1k	254 $\pm$ 5h	482 $\pm$ 8de
A4	2,37 $\pm$ 0,01b	1,61 $\pm$ 0,01b	0,010 $\pm$ 0,001b	3,99 $\pm$ 0,02b	15,0 $\pm$ 0,8j	41,490 $\pm$ 0,004g	27,4 $\pm$ 0,2a	284,1 $\pm$ 1,5g	368 $\pm$ 2g
A5	2,47 $\pm$ 0,05a	1,83 $\pm$ 0,03a	nd	4,30 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	18,1 $\pm$ 0,2hi	23,5 $\pm$ 0,8j	21,2 $\pm$ 0,2d	433 $\pm$ 16d	496 $\pm$ 16d
A6	2,17 $\pm$ 0,01cd	1,52 $\pm$ 0,01bc	nd	3,70 $\pm$ 0,01c	19,3 $\pm$ 0,3h	58 $\pm$ 1e	23,2 $\pm$ 0,2b	481 $\pm$ 3b	582 $\pm$ 4b
A7	2,49 $\pm$ 0,08a	1,61 $\pm$ 0,03b	0,010 $\pm$ 0,001b	4,10 $\pm$ 0,11b	16,86 $\pm$ 0,08i	35,0 $\pm$ 0,9h	17,1 $\pm$ 0,1g	227 $\pm$ 6i	296 $\pm$ 5h
A8	1,73 $\pm$ 0,04f	0,98 $\pm$ 0,02f	nd	2,71 $\pm$ 0,06g	89 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	40,9 $\pm$ 0,1g	17,9 $\pm$ 0,1f	395 $\pm$ 9e	543 $\pm$ 10c
A9	2,09 $\pm$ 0,01d	1,16 $\pm$ 0,01d	nd	3,25 $\pm$ 0,01ef	24,6 $\pm$ 0,4ef	53,9 $\pm$ 0,1f	18,3 $\pm$ 0,1e	395 $\pm$ 7e	491 $\pm$ 7d
A10	1,94 $\pm$ 0,06e	1,25 $\pm$ 0,04d	nd	3,20 $\pm$ 0,10ef	26,1 $\pm$ 0,4e	72 $\pm$ 1d	6,7 $\pm$ 0,1l	592 $\pm$ 10a	697 $\pm$ 9 <sup>a</sup>
A11	2,09 $\pm$ 0,02d	1,0 $\pm$ 0,1ef	nd	3,1 $\pm$ 0,1f	12,3 $\pm$ 0,4k	39,1 $\pm$ 0,3g	14,64 $\pm$ 0,02h	186 $\pm$ 10j	252 $\pm$ 10i
A12	1,81 $\pm$ 0,07f	0,7 $\pm$ 0,1g	nd	2,53 $\pm$ 0,05h	31 $\pm$ 1d	218 $\pm$ 1a	11,60 $\pm$ 0,01i	162 $\pm$ 4k	422 $\pm$ 4f
A13	2,17 $\pm$ 0,06cd	1,13 $\pm$ 0,06de	0,0100 $\pm$ 0,0001b	3,31 $\pm$ 0,01de	22,4 $\pm$ 0,4g	28,7 $\pm$ 0,2i	17,38 $\pm$ 0,01g	227 $\pm$ 12i	296 $\pm$ 11h
A14	2,20 $\pm$ 0,07c	1,23 $\pm$ 0,11d	0,010 $\pm$ 0,001b	3,44 $\pm$ 0,03d	8,55 $\pm$ 0,01l	tr	6,49 $\pm$ 0,04l	58 $\pm$ 2l	73 $\pm$ 2j

nd- No detectado. tr- trazas. En cada columna, diferentes letras significan diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ( $p < 0,05$ ).

### 4.1.2 Ácidos grasos y tocoferoles

El resultado del estudio de los principales ácidos grasos en las muestras de tomate estudiadas así como el porcentaje de los ácidos grasos saturados (SFA), ácidos grasos mono insaturados (MUFA) y los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) se muestran en la **Tabla 8**.

Fueron identificados diecinueve ácidos grasos (datos no mostrados) mientras que los más abundantes fueron: ácido palmítico (21,5 - 47,29 %), ácido linoleico (17,52 - 49.5 %), ácido oleico (4,53 - 16.08%), ácido esteárico (4,65 - 9,20 %), ácido  $\alpha$ -linolénico (3,97-11,84%); ácido araquídico (1,02 - 4,14%); ácido docosanoico (0,57 - 2,24%); ácido tretacosanoico (0,58 - 2,56%) y ácido tricosanoico (0,28 - 1,66%). En las muestras dentro de las cuales las muestras A1 hasta A10 el mayoritario fue el ácido palmítico y de las muestras A11 a la A14 el mayoritario fue el ácido linoleico. En las muestras A1 hasta A10 el perfil obtenido de ácidos grasos totales SFA>PUFA>MUFA donde son mayores los ácidos grasos saturados (49,53%-66,16%) debido al mayor contenido en C16:0, mientras que en las muestras A11 a A14 el perfil de ácidos grasos totales obtenidos fue PUFA>SFA>MUFA donde son mayores los ácidos grasos poliinsaturados (52,47% - 58,36%) debido al mayor contenido en C18:2n6.

Los ácidos grasos son una importante sustancia nutricional en los organismos vivos. Largas cadenas de PUFA, son esenciales en el metabolismo humano ya que poseen muchos efectos beneficiosos como la prevención de enfermedades coronarias, inflamatorias, desordenes autoinmunes e hipertensión (Bernal, Mendiola, Ibáñez, & Cifuentes, 2011).

La composición de tocoferoles está presentado en la **Tabla 8**. Todas las muestras exhibieron una mayor cantidad de  $\alpha$ -tocoferol en comparación con la presencia de las otras isoformas, la muestra A14 presento el mayor contenido de tocoferoles totales (541 mg/100 g) siendo los mayoritarios el  $\alpha$ -tocoferol (333 mg/100 g) y el  $\gamma$ -tocoferol (181 mg/100 g) pero en comparación con la muestra A9 esta posee una mayor cantidad de  $\alpha$ -tocoferol (381 mg/100 g)

Los tocoferoles pueden actuar como poderosos antioxidantes y pueden ser regenerados a través de la reacción con otros antioxidantes como por ejemplo con el ácido ascórbico (Lee

et al., 2004). Son los principales antioxidantes que se encuentran en el plasma sanguíneo y han sido asociados con una menor incidencia de enfermedades del corazón y retraso de la enfermedad de Alzheimer. El dióxido de nitrógeno está implicado en artritis y procesos carcinogénicos, el  $\alpha$ -tocoferol puede reducir dicho compuesto con mayor eficacia que las otras isoformas (G W Burton & Traber, 1990; Lee et al., 2004)

**Tabla 8. Principales ácidos grasos (porcentaje relativo %) y tocoferoles (mg/100 g mf) de *S. lycopersicum* (media  $\pm$  SD).**

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
<b>Ácidos grasos</b>														
C16:0	35,19 $\pm$ 0,05	43,2 $\pm$ 0,1	39,50 $\pm$ 0,09	47,29 $\pm$ 0,01	33,96 $\pm$ 0,01	34,05 $\pm$ 0,01	39,02 $\pm$ 0,07	44,71 $\pm$ 0,07	44,18 $\pm$ 0,02	32,0 $\pm$ 0,1	27,8 $\pm$ 0,1	21,5 $\pm$ 0,2	24,13 $\pm$ 0,01	22,71 $\pm$ 0,01
C18:0	7,22 $\pm$ 0,04	7,34 $\pm$ 0,04	8,17 $\pm$ 0,01	9,20 $\pm$ 0,06	7,14 $\pm$ 0,01	7,16 $\pm$ 0,01	7,95 $\pm$ 0,04	8,36 $\pm$ 0,08	6,49 $\pm$ 0,02	8,82 $\pm$ 0,02	5,83 $\pm$ 0,04	4,65 $\pm$ 0,02	5,30 $\pm$ 0,04	5,446 $\pm$ 0,002
C18:1n9	11,30 $\pm$ 0,01	5,15 $\pm$ 0,01	10,41 $\pm$ 0,08	7,56 $\pm$ 0,02	12,70 $\pm$ 0,03	12,74 $\pm$ 0,03	10,85 $\pm$ 0,03	6,41 $\pm$ 0,01	4,53 $\pm$ 0,06	16,08 $\pm$ 0,01	7,125 $\pm$ 0,001	11,98 $\pm$ 0,02	8,83 $\pm$ 0,01	10,96 $\pm$ 0,05
C18:2n6	31,66 $\pm$ 0,07	24,21 $\pm$ 0,06	25,18 $\pm$ 0,02	17,52 $\pm$ 0,04	32,90 $\pm$ 0,08	32,99 $\pm$ 0,08	28,25 $\pm$ 0,09	22,52 $\pm$ 0,03	24,85 $\pm$ 0,01	33,50 $\pm$ 0,07	40,63 $\pm$ 0,02	49,5 $\pm$ 0,1	44,79 $\pm$ 0,07	48,77 $\pm$ 0,04
C18:3n3	7,101 $\pm$ 0,005	7,24 $\pm$ 0,04	5,11 $\pm$ 0,02	3,95 $\pm$ 0,06	5,14 $\pm$ 0,01	5,15 $\pm$ 0,01	5,55 $\pm$ 0,07	4,36 $\pm$ 0,05	7,11 $\pm$ 0,03	3,07 $\pm$ 0,01	11,84 $\pm$ 0,07	8,75 $\pm$ 0,02	11,60 $\pm$ 0,02	8,11 $\pm$ 0,05
C20:0	1,56 $\pm$ 0,04	1,96 $\pm$ 0,06	3,02 $\pm$ 0,02	4,14 $\pm$ 0,03	2,14 $\pm$ 0,03	2,14 $\pm$ 0,03	2,60 $\pm$ 0,01	3,98 $\pm$ 0,02	2,47 $\pm$ 0,02	2,66 $\pm$ 0,05	1,587 $\pm$ 0,002	1,02 $\pm$ 0,02	1,343 $\pm$ 0,004	1,09 $\pm$ 0,02
C22:0	1,31 $\pm$ 0,03	2,03 $\pm$ 0,02	1,82 $\pm$ 0,04	2,015 $\pm$ 0,003	0,86 $\pm$ 0,01	0,86 $\pm$ 0,01	0,94 $\pm$ 0,01	2,00 $\pm$ 0,03	2,24 $\pm$ 0,06	0,762 $\pm$ 0,001	1,35 $\pm$ 0,02	0,57 $\pm$ 0,02	0,98 $\pm$ 0,01	0,71 $\pm$ 0,01
C23:0	0,80 $\pm$ 0,02	1,26 $\pm$ 0,02	1,19 $\pm$ 0,06	1,66 $\pm$ 0,03	0,66 $\pm$ 0,01	0,66 $\pm$ 0,01	0,83 $\pm$ 0,04	1,56 $\pm$ 0,02	1,14 $\pm$ 0,01	0,407 $\pm$ 0,006	0,62 $\pm$ 0,03	0,28 $\pm$ 0,01	0,390 $\pm$ 0,002	0,123 $\pm$ 0,003
C24:0	1,45 $\pm$ 0,02	2,54 $\pm$ 0,04	2,2 $\pm$ 0,1	2,80 $\pm$ 0,02	1,16 $\pm$ 0,01	1,16 $\pm$ 0,01	1,47 $\pm$ 0,03	2,5 $\pm$ 0,1	2,56 $\pm$ 0,02	0,982 $\pm$ 0,003	1,30 $\pm$ 0,05	0,58 $\pm$ 0,01	1,14 $\pm$ 0,03	0,443 $\pm$ 0,005
SFA	49,53 $\pm$ 0,07f	62,86 $\pm$ 0,06c	58,88 $\pm$ 0,12d	70,33 $\pm$ 0,01a	48,65 $\pm$ 0,07g	48,78 $\pm$ 0,07g	55,0 $\pm$ 0,1e	66,16 $\pm$ 0,1b	63,0 $\pm$ 0,1c	47,04 $\pm$ 0,06h	40,30 $\pm$ 0,05i	29,5 $\pm$ 0,11	34,56 $\pm$ 0,06j	31,84 $\pm$ 0,05k
MUFA	11,38 $\pm$ 0,01d	5,24 $\pm$ 0,011	10,51 $\pm$ 0,08g	7,63 $\pm$ 0,01i	13,04 $\pm$ 0,02b	13,08 $\pm$ 0,02b	10,95 $\pm$ 0,02f	6,51 $\pm$ 0,01k	4,71 $\pm$ 0,06m	16,19 $\pm$ 0,01a	7,23 $\pm$ 0,01j	12,15 $\pm$ 0,02c	9,06 $\pm$ 0,02h	11,12 $\pm$ 0,04e
PUFA	39,09 $\pm$ 0,08e	31,91 $\pm$ 0,07j	30,61 $\pm$ 0,04k	22,04 $\pm$ 0,01m	38,31 $\pm$ 0,09f	38,14 $\pm$ 0,09f	34,1 $\pm$ 0,2h	27,34 $\pm$ 0,09l	32,30 $\pm$ 0,05i	36,77 $\pm$ 0,05g	52,47 $\pm$ 0,05d	58,36 $\pm$ 0,14a	56,38 $\pm$ 0,05c	57,04 $\pm$ 0,01b
<b>Tocoferoles</b>														
$\alpha$ -Tocoferol	131 $\pm$ 1i	256 $\pm$ 5f	53,3 $\pm$ 0,5l	199,6 $\pm$ 17g	141 $\pm$ 5h	194 $\pm$ 3g	291 $\pm$ 3e	114 $\pm$ 4j	381 $\pm$ 3a	71 $\pm$ 3k	321 $\pm$ 4d	336 $\pm$ 5c	345,6 $\pm$ 0,5b	333 $\pm$ 5c
$\beta$ -Tocoferol	7,6 $\pm$ 0,3g	11,0 $\pm$ 0,2e	5,62 $\pm$ 0,03i	13,24 $\pm$ 0,03b	9,9 $\pm$ 0,5f	10,2 $\pm$ 0,2f	13,1 $\pm$ 0,5bc	6,0 $\pm$ 0,2hi	12,42 $\pm$ 0,04cd	6,6 $\pm$ 0,3h	13,4 $\pm$ 0,2b	11,1 $\pm$ 0,5e	12,2 $\pm$ 0,2d	15,9 $\pm$ 0,7a
$\gamma$ -Tocoferol	61 $\pm$ 1h	38 $\pm$ 2j	90 $\pm$ 3e	65 $\pm$ 3gh	99 $\pm$ 3d	69,1 $\pm$ 0,9fg	73 $\pm$ 1f	73 $\pm$ 1f	28 $\pm$ 1k	154 $\pm$ 2c	46,3 $\pm$ 0,5i	167 $\pm$ 2b	70 $\pm$ 2f	181 $\pm$ 6a
$\delta$ -Tocoferol	5,0 $\pm$ 0,1f	3,5 $\pm$ 0,2gh	6,49 $\pm$ 0,06d	5,20 $\pm$ 0,05f	9,3 $\pm$ 0,4b	3,9 $\pm$ 0,2g	3,4 $\pm$ 0,3h	5,0 $\pm$ 0,2f	1,52 $\pm$ 0,07j	8,1 $\pm$ 0,1c	3,2 $\pm$ 0,1h	5,8 $\pm$ 0,2e	2,5 $\pm$ 0,1i	10,320 $\pm$ 0,003a
Total tocoferol	204,4 $\pm$ 0,3i	309 $\pm$ 3e	155 $\pm$ 3j	283 $\pm$ 4f	258 $\pm$ 3g	277 $\pm$ 2f	380 $\pm$ 4d	198 $\pm$ 3i	423 $\pm$ 4c	240 $\pm$ 5h	384 $\pm$ 4d	521 $\pm$ 8b	431 $\pm$ 3c	541 $\pm$ 1a

Los resultados son expresados como la media  $\pm$  desvío estándar. Ácido palmítico (C16:0); ácido esteárico (C18:0); ácido oleico (C18:1n9); ácido linoleico (C18:2n6); ácido  $\alpha$ -linolénico (C18:3n3); ácido araquídico (C20:0); ácido docosanoico (C22:0); ácido tricosanoico (C23:0); ácido tetracosanoico (C24:0); SFA saturated fatty acids (ácidos grasos saturados); MUFA monounsaturated fatty acids (ácidos grasos monoinsaturados) y PUFA polyunsaturated fatty acids (ácidos grasos polinsaturados). nd- No detectado. tr- trazas. En cada columna, diferentes letras significan diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ( $p < 0,05$ ).

### 4.1.3 Carotenoides

El resultado del estudio de los carotenoides,  $\beta$ -caroteno y licopeno, se muestran en la **Tabla 9**. En las catorce muestras estudiadas se encontró la presencia tanto de  $\beta$ -caroteno como de licopeno, pero es la muestra A2 la que mostro una mayor cantidad de  $\beta$ -caroteno (0,87 mg/100 g), mientras que la mayor presencia de licopeno se encuentra en la muestra A14 (0,90 mg/100 g).

El licopeno es el carotenoide más abundante en el tomate sus cantidades van desde 0,9 a 9,27 mg (por 100 g de producto, dependiendo de la especie y grado de maduración) (Trejo-Solís et al., 2013). El licopeno es un carotenoide presente en el tomate y la ingesta de alimentos que contienen licopeno ha demostrado estar relacionado con la disminución del riesgo de enfermedades crónicas, como el cáncer y enfermedades cardiovasculares (Agarwal & Rao, 2000) Su potencial como antioxidante está relacionado con la capacidad de eliminar el oxígeno singlete y los radicales peróxilo (Borguini & Ferraz Da Silva Torres, 2009).

Las diferencias observadas en los compuestos que poseen actividad antioxidante presentes en las muestras estudiadas están relacionadas con el genotipo pero también con varios factores tales como etapas de maduración, prácticas de cultivo (disponibilidad de agua, nutrientes minerales), clima (principalmente luz y temperatura) (Dumas et al., 2003), como podemos observar la diferencia de valores de  $\beta$ -caroteno y licopeno entre la **Tabla 8** y la **Tabla 1** para muestras de tomate fresco.

En cuanto al estudio de las clorofilas en las catorce muestras se encuentra tanto la clorofila A y B, siendo la muestra A14 la que posee mayor cantidad de estas 0,18 mg/100 g y (0,28 mg/100 g, respectivamente. En aplicaciones medicinales, las clorofilas han demostrado elevada actividad biológica *in vitro* relacionada con la prevención de cáncer y actividad antioxidante (Egner, Muñoz, & Kensler, 2003).

**Tabla 9. Contenido de carotenoides,  $\beta$ -caroteno, licopeno, clorofila A y B (mg/100 g mf) en muestras de *S. lycopersicum* (media  $\pm$  SD).**

	$\beta$ -caroteno	Licopeno	Clorofila A	Clorofila B
A1	0,313 $\pm$ 0,003h	0,1914 $\pm$ 0,0005j	0,073 $\pm$ 0,001d	0,071 $\pm$ 0,002g
A2	0,87 $\pm$ 0,05a	0,86 $\pm$ 0,01b	0,050 $\pm$ 0,001g	0,053 $\pm$ 0,001h
A3	0,27 $\pm$ 0,01i	0,246 $\pm$ 0,001h	0,094 $\pm$ 0,002c	0,135 $\pm$ 0,003d
A4	0,196 $\pm$ 0,002j	0,375 $\pm$ 0,001g	0,138 $\pm$ 0,002b	0,211 $\pm$ 0,003b
A5	0,243 $\pm$ 0,004i	0,170 $\pm$ 0,001k	0,065 $\pm$ 0,004e	0,08 $\pm$ 0,01efg
A6	0,192 $\pm$ 0,001j	0,168 $\pm$ 0,001k	0,061 $\pm$ 0,002e	0,091 $\pm$ 0,003e
A7	0,64 $\pm$ 0,02cd	0,77 $\pm$ 0,01e	0,075 $\pm$ 0,005d	0,09 $\pm$ 0,01ef
A8	0,28 $\pm$ 0,01hi	0,212 $\pm$ 0,005i	0,049 $\pm$ 0,003g	0,063 $\pm$ 0,004gh
A9	0,73 $\pm$ 0,04b	0,77 $\pm$ 0,01e	0,053 $\pm$ 0,003f	0,07 $\pm$ 0,005fg
A10	0,40 $\pm$ 0,01g	0,36 $\pm$ 0,01g	0,056 $\pm$ 0,004f	0,08 $\pm$ 0,01efg
A11	0,67 $\pm$ 0,03c	0,80 $\pm$ 0,01d	0,10 $\pm$ 0,01c	0,13 $\pm$ 0,01d
A12	0,56 $\pm$ 0,03e	0,84 $\pm$ 0,02c	0,13 $\pm$ 0,01b	0,19 $\pm$ 0,01c
A13	0,470 $\pm$ 0,005f	0,62 $\pm$ 0,01f	0,13 $\pm$ 0,01b	0,20 $\pm$ 0,01bc
A14	0,61 $\pm$ 0,03d	0,90 $\pm$ 0,03a	0,18 $\pm$ 0,01a	0,28 $\pm$ 0,01a

En cada columna, diferentes letras significan diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ( $p < 0,05$ ).

#### 4.1.4 Caracterización de compuestos fenólicos en muestras de *Solanum lycopersicum* L

Los compuestos fenólicos encontrados en muestras de *Solanum lycopersicum* L. y su cuantificación están listados en las **Tablas 10 y 11**. La **Tabla 10** presenta los datos relacionados con la identificación de compuestos fenolicos (tiempo de retención,  $\lambda_{max}$  en la region visible, ion pseudomolecular, iones de fragmentos principales en MS<sup>2</sup> e identificación tentativa) obtenidos mediante análisis HPLC-DAD-ESI/MS.

Fueron identificados catorce compuestos fenólicos, entre ellos 10 ácidos fenólicos y cuatro flavonoides (**Tabla 10**). Un perfil fenólico similar fue previamente reportado en los extractos hidrometanólicos de cuatro diferentes variedad de tomate de agricultores portugueses (Barros et al., 2012), por lo que la identificación realizada en este estudio se llevó a cabo tomando en cuenta todas las características de identificación realizadas anteriormente.

Los principales compuestos fenólicos que se encuentran en el tomate son los ácidos fenólicos, principalmente los hidroxicinámicos, como los ácidos *p*-coumarico, cafeico y clorogénico (Vallverdú-Queralt et al., 2011). También fueron identificados flavonoles, como derivados de quercetina y camferol, principalmente en forma conjugada unida a moléculas de azúcar.

La muestra en la que se detectaron y cuantificaron la mayor cantidad de compuestos fenólicos fue en la muestra A14, detectando y cuantificando compuestos como el ácido cafeico, *p*-cumarico y compuestos derivados de dichos ácidos, siendo el mayoritario el ácido *p*-cumarico ligado a una hexosa (4821  $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ), seguidos del ácido cafeico igualmente ligado a una hexosa (1776  $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) y finalmente el ácido 5-*O*-cafeoliquinico (1438  $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ). En todas las muestras el perfil de compuestos fenólicos fue muy similar y los ácidos fenólico se encuentran en mayor cantidad que los flavonoides.

No se hace posible realizar una comparación entre las muestras trabajadas de tomate corazón de buey con las muestras de la misma variedad que refiere el autor Barros *et al* (2012), porque los resultados en esta investigación están expresados en  $\mu\text{g}/\text{g}$  mf y los referidos por el autor se encuentran en  $\mu\text{g}/\text{g}$  de extracto; las muestras A2 y A8 proceden de la misma región (Santarém) existen diferencia significativas en los contenidos de

flavonoides totales y a su vez el contenido total de compuestos fenólicos (**Tabla 11**), estas diferencias encontradas han sido reportadas como factores relacionados al genotipo, tipos de cosecha y factores ambientales (Beato, Orgaz, Mansilla, & Montaña, 2011)

Los compuestos fenólicos han sido asociados con la inhibición de aterosclerosis y cáncer debido a su capacidad de quelar metales, inhibir la peroxidación lipídica y su capacidad *scavenge* en radicales libres (Borguini & Ferraz Da Silva Torres, 2009).

**Tabla 10. Tiempos de retención (Rt), longitudes de onda de máxima absorción en la región visible ( $\lambda_{\max}$ ), datos del espectro de masas, identificación tentativa de compuestos fenólicos presentes en *S. lycopersicum*.**

Compuesto	Tr (min)	$\lambda_{\max}$ (nm)	Ion molecular [M-H] <sup>-</sup> (m/z)	MS <sup>2</sup> (m/z)	Identificación tentativa
1	5,0	320	341	179(100)	Ácido cafeico hexosido I
2	5,3	306	325	163(100)	Ácido <i>p</i> -cumarico hexosido
3	6,3	320	341	179(100)	Ácido cafeico hexosido II
4	6,8	326	353	191(100),179(11),161(15),135(6)	Ácido 5- <i>O</i> -Cafeoquinico
5	7,0	314	325	163(100)	Ácido <i>p</i> -cumarico hexosido
6	7,3	312	325	163(100)	Ácido <i>p</i> -cumarico hexosido
7	8,2	320	341	179(100)	Ácido cafeico hexosido II
8	9,3	320	179	135(100)	Ácido cafeico
9	13,5	274	359	197(100),153(35),135(5)	Ácido siríngico hexosido
10	14,4	309	163	119(100)	Ácido <i>p</i> -cumarico
11	15,0	350	741	609(47),301(100)	Quercetin-rutinosido-pentosido
12	17,0	352	609	301(100)	Quercetin-3- <i>O</i> -rutinosido
13	20,1	348	593	285(100)	Kaemferol-3- <i>O</i> -rutinosido
14	23,64	292,311	917	741(100),609(44),301(31)	Quercetin- <i>O</i> -feruol- <i>O</i> -rutinosido- <i>O</i> -pentosido

Las cifras entre corchetes después de los iones fragmentos MS<sup>2</sup> se refieren a sus abundancias relativas.

**Tabla 11. Cuantificación de los compuestos fenólicos presentes en *S. lycopersicum* ( $\mu\text{g}/100 \text{ g mf}$ ).**

Compuestos	Muestras													
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
1 <sup>A</sup>	354±1	597±6	540±17	201±1	255±11	712±3	204±7	460±9	821±11	522±16	685±15	553±19	803±3	1776±38
2 <sup>B</sup>	602±8	1802±35	2565±38	726±13	1110±19	2479±5	814±11	2152±8	1925±2	2417±9	2885±62	3355±17	4077±103	4821±57
3 <sup>A</sup>	261±2	223±8	335±11	176±2	329±9	311±6	150±6	183±9	356±14	385±2	378±5	269±4	199±11	1345±31
4 <sup>C</sup>	nd	457±4	36.68±0.01	1294±13	1151±24	787±10	nd	331±1	686±2	524±10	453±6	421±14	521±11	1438±24
5 <sup>B</sup>	453±9	Tr	370±13	164±7	262±2	320±7	236±2	342±13	378±5	363±6	405±12	382±4	371±5	839±17
6 <sup>B</sup>	nd	Nd	nd	nd	nd	Nd	nd	239±8	nd	nd	nd	nd	278±2	883±26
7 <sup>A</sup>	232±6	Nd	251±7	303±15	490±16	176±3	337±14	317±7	274±5	nd	nd	nd	tr	tr
8 <sup>A</sup>	nd	173±2	Tr	167±4	tr	131±5	109±3	221±3	186±4	178±3	169±2	nd	135.7±0.4	584±20
9 <sup>D</sup>	155±2	85±3	125±1	164±2	179±4	105±4	163±4	154±4	133±1	nd	185±2	116±4	99±2	503±2
10 <sup>B</sup>	537±12	296±5	578±3	nd	tr	141±3	158.5±0.5	435±1	tr	233±6	480±18	425±10	313±5	453±11
11 <sup>E</sup>	209±1	72.17±0.02	77±2	220±2	210±6	184±8	239±7	tr	65±2	140±4	73±1	tr	tr	122±1
12 <sup>E</sup>	866±15	102±2	456±3	510±3	619±8	908±20	709±5	386±13	920±9	877±14	1001±10	255±2	187±3	974±32
13 <sup>F</sup>	61±1	Nd	55±2	tr	tr	Tr	tr	75±5	38.2±0.3	tr	140±2	tr	tr	110±2
14 <sup>E</sup>	nd	Nd	nd	nd	nd	Nd	nd	tr	tr	nd	nd	nd	nd	tr
TPA	2594±5i	3631±34g	4801±85ef	3196±7h	3776±36g	5162±46d	2171±33j	4835±47e	4759±32ef	4621±49f	5639±85c	5520±65c	6797±114b	12642±201a
TF	1136±15b	174±3k	588±4h	730±5g	829±14f	1091±29c	948±2f	461±8i	1023±10dd	1017±18	1214±13a	255±2j	187±3k	1207±35a
TPC	3730±21h	3804±37gh	5389±81e	3926±12g	4605±49f	6253±75c	3119±32i	5296±39e	5782±43d	5638±67d	6853±98b	5776±67d	6984±111b	13848±237a

nd - no detectado. Tr - trazas; TPA: contenido total de ácidos fenólicos; TF: contenido total de flavonoides; TPC: contenido total de compuestos fenólicos. A- ácido cafeico ( $y = 388345x + 406369$ ;  $R^2=0.994$ ); B- ácido *p*-cumárico ( $y = 301950x + 6966.7$ ;  $R^2=0.999$ ); C- ácido clorogénico ( $y = 168823x - 161172$ ;  $R^2=0.999$ ); D- ácido siringico ( $y = 376056x + 141329$ ;  $R^2 = 0.9995$ ); E- quercetin-3-*O*-rutinosido ( $y = 13343x - 76751$ ;  $R^2=0.9998$ ); F- kamferol-3-*O*-rutinosido ( $y = 11117x + 30861$ ;  $R^2=0.999$ ). En cada columna, diferentes letras significan diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ( $p < 0,05$ ).

## 4.2 Actividad Antioxidante de *Solanum lycopersicum* L

Los resultados de la actividad antioxidante se muestran en la **Tabla 12**. Para la evaluación de la actividad antioxidante no existe un único método que pueda determinar todos los mecanismos de protección contra la oxidación, por ello se realizaron cuatro métodos que son la captación de radicales libres (DPPH), el poder reductor, la inhibición de la decoloración de  $\beta$ -caroteno y la peroxidación lipídica (TBARS).

En el ensayo de poder reductor los mejores resultados los presenta la muestra A12 (0,54 mg/mL), en cuanto los mejores resultados de  $EC_{50}$  en los ensayos de DPPH e inhibición de decoloración de  $\beta$ -caroteno los presenta la muestra A8 (5,6 mg/mL y 0,286 mg/mL, respectivamente). En el ensayo de inhibición de peroxidación lipídica (TBARS) los mejores resultados de  $EC_{50}$  los presentan las muestras A7 (1,13 mg/mL), A13 (1,03 mg/mL) y A14 (1,14 mg/mL). Con la realización del ensayo de actividad antioxidante observamos cómo cada uno de los compuestos presentes descritos anteriormente juegan un papel importante en este ensayo, ya que en el tomate están presentes compuestos tales como ácido ascórbico y tocoferoles ambos con capacidad antioxidante que pueden trabajar en conjunto siendo que a partir del ácido ascórbico los tocoferoles pueden ser regenerados y de esta manera prolongar su acción como agente antioxidante, de la misma manera la presencia de licopeno que es uno de los compuestos que se encuentra en gran proporción en los tomates además de disminuir el riesgo de enfermedades crónicas posee una acción antioxidantes al igual que las clorofilas y finalmente la presencia de compuestos fenólicos de diferentes tipos inhiben la peroxidación lipídica y poseen efecto *scavenge* de radicales libres, si bien individualmente cada uno posee su propia acción y grado de funcionalidad pero en conjunto entre ellos pueden potenciar su acción y proporcionar un efecto mayor.

En la evaluación de la actividad antioxidante de las muestras presentaron mejores valores de  $EC_{50}$  el ensayo de inhibición de decoloración de  $\beta$ -caroteno (valores de  $EC_{50} \leq 0,59$  mg/mL) en contrapartida a los otros ensayos de actividad antioxidante (poder reductor, DPPH y TBARS) que mostraron valores de  $EC_{50}$  más elevados.

**Tabla 12. Propiedad antioxidante de *Solanum lycopersicum* L.**

Muestras	Poder Reductor		Actividad <i>scavenger</i>		Inhibición de peroxidación lipídica
	Azul de Prusia/Ferricianato (EC <sub>50</sub> ; mg/mL)	Actividad <i>scavenger</i> DPPH (EC <sub>50</sub> ; mg/mL)	β-caroteno/linoleato (EC <sub>50</sub> ; mg/mL)	TBARS (EC <sub>50</sub> ; mg/mL)	
A1	1,69±0,04c	7,05±0,07gh	0,51±0,03b	2,34±0,08c	
A2	1,91±0,01b	6,89±0,02h	0,39±0,01e	2,2±0,1de	
A3	2,15±0,08 <sup>a</sup>	9,8±0,1a	0,31±0,01g	2,26±0,07cd	
A4	1,47±0,04d	5,85±0,09i	0,59±0,01a	2,7±0,1a	
A5	0,73±0,01i	8,7±0,2c	0,36±0,01f	2,11±0,06e	
A6	1,04±0,03f	7,23±0,05f	0,48±0,02c	2,5±0,1b	
A7	0,86±0,02h	7,96±0,09e	0,51±0,02b	1,13±0,03gh	
A8	0,85±0,01h	5,6±0,2j	0,286±0,004g	2,11±0,02e	
A9	0,92±0,02g	5,41±0,09k	0,41±0,02de	0,45±0,01i	
A10	1,28±0,01e	9,11±0,09b	0,430±0,004d	1,779±0,004f	
A11	0,92±0,01g	7,21±0,06fg	0,47±0,01c	1,20±0,07g	
A12	0,54±0,01j	8,43±0,02d	0,479±0,003c	1,24±0,09g	
A13	1,06±0,04f	9,19±0,12b	0,53±0,03b	1,03±0,03h	
A14	0,77±0,03i	7,07±0,06fg	0,479±0,002c	1,14±0,04gh	

La actividad antioxidante se expresó como valores de EC<sub>50</sub>, lo que significa que los valores más altos corresponden a potencia reductora más baja o potencial antioxidante. Valores de Trolox EC<sub>50</sub>: 41 µg / mL (potencia reductora), 42 µg / mL (actividad de barrido de DPPH), 18 µg / mL (inhibición del blanqueo de β-caroteno) y 23 µg / ml (inhibición de TBARS). En cada columna, diferentes letras significan diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ( $p < 0,05$ ).

## 5 CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo se ha pretendido realizar análisis fitoquímicos y evaluar el valor nutricional y propiedades antioxidantes de catorce variedades regionales de tomate del acervo del Banco Portugués de Germoplasma Vegetal (BPGV), recolectadas en diferentes áreas de Portugal (Lisboa, Santarém, Portalegre, Bragança, Aveiro y Castelo Branco). El BPGV se encarga de recolectar, conservar y valorizar los recursos genéticos, asegurando la conservación de la diversidad biológica y la producción agrícola sustentable. Es necesario que el material genético, además de encontrarse en condiciones viables mantenga sus características originales en cuanto a composición química y nutricional.

En el ámbito de la misión del BPGV, en 2016, el material (semillas) conservado ha sido multiplicado y regenerado en su finca de Braga. Además de la recaudación de nuevas semillas se pretendió completar la información morfológica y agronómica con datos químicos y valor nutricional de los accesos de tomate conservados.

Por las razones antes mencionadas se ha trabajado con muestras proporcionadas por el BPGV, constituidas por frutos de cada acceso multiplicado, correspondientes a catorce variedades de tomate para consumo en fresco. El valor nutricional de cada una de las muestras fue calculado con base a los niveles de lípidos totales, proteínas y azúcares, siguiendo los métodos oficiales de análisis. El análisis de la composición de fitoquímicos incluye la determinación de antioxidantes hidrofílicos (azúcares, ácidos orgánicos, ácido ascórbico y compuestos fenólicos) y lipofílicos (carotenoides:  $\beta$ -caroteno y licopeno, clorofilas a y b, tocoferoles y ácidos grasos). El estudio de las propiedades antioxidantes fueron evaluadas por diferentes métodos bioquímicos (inhibición de la decoloración de  $\beta$ -caroteno en presencia de radicales libres derivados del ácido linoleico así como inhibición de especies reactivas del ácido tiobarbitúrico (TBARS) en homogenizados cerebrales) y métodos químicos (determinación del poder reductor y de la capacidad captadora de radicales DPPH).

Los resultados obtenidos dan soporte técnico y científico al consumo de tomate fresco como parte de una dieta de consumo de tomate.

En cuanto al valor nutricional podemos concluir que los tomates analizados que fueron sembrados por el BPGV son aptos para incorporarse a dietas de bajas calorías ya que presentan bajo contenido en grasa y bajo contenido en carbohidrato, proteínas y bajo aporte energético.

Al tratarse de tomates de consumo en fresco no solo es necesario evaluar su valor nutricional sino también otros compuestos presentes en él, tal como es el caso del ácido oxálico que está presente en todas las muestras de tomate analizadas, este compuesto está asociado con la formación de cristales de oxalato de calcio, si bien las cantidades de este ácido disminuyen con el proceso de cocción. Al tratarse de consumo en fresco es las muestras A1 y A8 son menos recomendables para su consumo, debido a su alto contenido de ácido oxálico.

Además de ser un alimento de alto consumo, posee otras fuentes de compuestos bioactivos que son ventajosos para la salud humana, como el caso del ácido ascórbico y tocoferoles presentes en todas las muestras analizadas, ellos están asociados a la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo en la neutralización de la acción de los radicales libres. Además, los tocoferoles al actuar como poderosos antioxidantes pueden ser regenerados por medio de reacción con otros antioxidantes como el ácido ascórbico habiendo un sinergismo entre ellos al efectuar su acción.

Con la realización del análisis de tocoferoles se confirmó la presencia de todas sus isoformas, pero es el  $\alpha$ -tocoferol, presente en la mayor concentración en todas las muestras, al que se le asocia una disminución más efectiva del dióxido de nitrógeno compuesto asociado con enfermedades como la artritis y con procesos carcinogénicos.

En las muestras analizadas también se confirmó la presencia de ácidos grasos, siendo el ácido palmítico y el ácido linoleico los que se encontraron predominantemente. El ácido palmítico es uno de los principales ácidos grasos saturados (SFA) presentes en el tomate y el consumo de este, es necesario como aporte energético a nuestro organismo, mientras que el ácido linoleico es un ácido grasos poliinsaturado (PUFA) que es esencial en el metabolismo humano en la prevención de enfermedades coronarias, inflamatorias, desordenes autoinmunes e hipertensión.

Al realizar el análisis de los carotenoides se confirmó la presencia de licopeno en las muestras estudiadas pero este se encontró en cantidades más bajas que las que están reportadas en otros estudios.

En el análisis de compuestos fenólicos, el ácido cafeico y sus derivados, el ácido *p*-cumárico y sus derivados y finalmente los derivados de la quercetina son los que presentan mayor presencia en las muestras de tomate y mayor aun en la muestra A14, en la que se identificaron y cuantificaron más compuestos de estos tipo. Los dichos compuestos han sido asociados con la inhibición de aterosclerosis y cáncer debido a su capacidad de quelar metales, inhibir la peroxidación lipídica y su capacidad *scavenge* en radicales libres.

En la evaluación de la actividad antioxidante no existe un solo método que englobe todos los mecanismos de actividad antioxidante, para ello se realizaron las pruebas de poder reductor, actividad *scavenging* de radicales (DPPH y  $\beta$ -caroteno/linoleato) e inhibición de peroxidación lipídica (TBARS). La muestra A9 presento los mejores resultados en 2 métodos, en el ensayo de DPPH (5,41 mg/mL) y en TBARS (0,45 mg/mL); el mejor resultado para poder reductor lo presentó la muestra A12 (0,54 mg/mL) y en la decoloración de  $\beta$ -caroteno las mejores muestras son la A3 (0,31 mg/mL) y A8 (0,286 mg/mL), respectivamente.

Como conclusión general podemos afirmar que las muestras de tomate para consumo en fresco cultivadas y proporcionadas por el Banco Portugués de Germoplasma Vegetal son aptos para consumo ya que, en cuanto al valor nutricional estos presentan valores similares a los reportados por organizaciones como la USDA y la FAO, que además de ser un alimento que puede ser consumido diariamente, se confirma la presencia de un abanico de compuestos que también traen al consumidor beneficios no solo de tipo nutricional, sino que también promotores de la salud humana con capacidad de actuar a nivel de enfermedades ligadas al estrés oxidativo, enfermedades neurodegenerativas, coronarias y enfermedades autoinmunes lo que es un plus en este tipo de alimentos que son de consumo diario y de fácil adquisición para la población.

Por otra parte, los resultados obtenidos permiten completar la información existente en los datos de pasaporte de cada uno de los accesos conservados en el BPGV. Dicha información

es esencial para la caracterización del germoplasma conservado, facilitando todos los procesos de utilización e intercambio inherentes y respetando los patrones internacionales.

Como perspectiva futura se hace interesante un estudio de comparación entre el resultado de las muestras analizadas en este trabajo y el resultado de muestras de cada uno de los tomates cultivados en su región para así confirmar si el valor nutricional y de los otros compuestos presentes son similares o si difieren entre ellos y de esta forma ser capaces de establecer una relación entre el lugar de cultivo y la concentración de cada uno de los compuestos presentes en el tomate.

De igual manera se hace importante realizar un estudio de exploración del epicarpio (piel) de los tomates estudiados en este trabajo, como posible fuente de compuestos bioactivos (compuestos fenólicos).

## REFERENCIAS

- Agarwal, S., & Rao, A. V. (2000). Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *CMAJ: Canadian Medical Association Journal = Journal de l'Association Medicale Canadienne*, 163(6), 739–44. Retrieved from <http://www.cmaj.ca/content/163/6/739.abstract>
- AOAC. (2016). *Official Methods of Analysis of AOAC International. Association of Official Analysis Chemists International* (20th Editi).
- Aristizábal, J., Autoras, T. S., & Lorío, D. M. (2007). ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *Acerca de*. Retrieved from <http://www.fao.org/genetic-resources/es/>
- Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany*, 100(5), 1085–1094. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm150>
- Baiano, A., & Del Nobile, M. A. (2015). Antioxidant Compounds from Vegetable Matrices: Biosynthesis, Occurrence, and Extraction Systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 8398(July), 2053–2068. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.812059>
- Barros, L., Cabrita, L., Boas, M. V., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2011). Chemical, biochemical and electrochemical assays to evaluate phytochemicals and antioxidant activity of wild plants. *Food Chemistry*, 127(4), 1600–1608. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.024>
- Barros, L., Dueñas, M., Pinela, J., Carvalho, A. M., Buelga, C. S., & Ferreira, I. C. F. R. (2012). Characterization and Quantification of Phenolic Compounds in Four Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) Farmers' Varieties in Northeastern Portugal Homegardens. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(3), 229–234. <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0307-z>

- Batista, C., Barros, L., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2011). Nutritional and nutraceutical potential of rape (*Brassica napus* L. var. *napus*) and “trunchuda” cabbage (*Brassica oleraceae* L. var. *costata*) inflorescences. *Food and Chemical Toxicology*, *49*(6), 1208–1214. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.02.023>
- Beato, V. M., Orgaz, F., Mansilla, F., & Montañó, A. (2011). Changes in Phenolic Compounds in Garlic (*Allium sativum* L.) Owing to the Cultivar and Location of Growth. *Plant Foods for Human Nutrition*, *66*(3), 218–223. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0236-2>
- Bergougoux, 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>
- Bernal, J., Mendiola, J. A., Ibáñez, E., & Cifuentes, A. (2011). Advanced analysis of nutraceuticals. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *55*(4), 758–774. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2010.11.033>
- Borguini, R. G., & Ferraz Da Silva Torres, E. a. (2009). Tomatoes and Tomato Products as Dietary Sources of Antioxidants. *Food Reviews International*, *25*(4), 313–325. <https://doi.org/10.1080/87559120903155859>
- Bruneton, J. (2001). *Farmacognosia, Fitoquímica, Plantas Medicinales* (2a Edición, Vol. 1). Editorial Acribia S.A.
- Burton, G. W., & Traber, M. G. (1990). Vitamin E: antioxidant activity, biokinetics, and bioavailability. *Annual Review of Nutrition*, *10*(July 2017), 357–382. <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.10.070190.002041>
- Burton, G. W., & Traber, M. G. (1990). Vitamin E: Antioxidant Activity, Biokinetics, and Bioavailability. *Annual Review of Nutrition*, *10*(1), 357–382. <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.10.070190.002041>
- Carocho, M., Barros, L., Antonio, A. L., Barreira, J. C. M., Bento, A., Kaluska, I., & Ferreira, I. C. F. R. (2013). Analysis of organic acids in electron beam irradiated

- chestnuts (*Castanea sativa* Mill.): Effects of radiation dose and storage time. *Food and Chemical Toxicology*, *55*, 348–352. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.01.031>
- Carocho, M., & Ferreira, I. C. F. R. (2013). A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, *51*(1), 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.09.021>
- Chevalier, C., Nafati, M., Mathieu-Rivet, E., Bourdon, M., Frangne, N., Cheniclet, C., ... Hernould, M. (2011). Elucidating the functional role of endoreduplication in tomato fruit development. *Annals of Botany*, *107*(7), 1159–1169. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq257>
- Doebley, J. F., Gaut, B. S., & Smith, B. D. (2006). The Molecular Genetics of Crop Domestication. *Cell*, *127*(7), 1309–1321. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.12.006>
- Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., & Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *83*(5), 369–382. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1370>
- Egner, P. A., Muñoz, A., & Kensler, T. W. (2003). Chemoprevention with chlorophyllin in individuals exposed to dietary aflatoxin. *Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, *523–524*, 209–216. [https://doi.org/10.1016/S0027-5107\(02\)00337-8](https://doi.org/10.1016/S0027-5107(02)00337-8)
- Escarpa, A., & Gonzalez, M. C. (2001). An Overview of Analytical Chemistry of Phenolic Compounds in Foods. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, *31*(2), 57–139. <https://doi.org/10.1080/20014091076695>
- Eurostat. (2016). Fresh vegetables and strawberries by area, *49*, 7–8. Retrieved from <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tag00115&plugin=1>
- FAO. (2015). *FAO Statistical Pocketbook 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://doi.org/978-92-5-108802-9>

- Fletcher, S. P., Geyer, B. C., Smith, A., Evron, T., Joshi, L., Soreq, H., & Mor, T. S. (2004). Tissue distribution of cholinesterases and anticholinesterases in native and transgenic tomato plants. *Plant Molecular Biology*, *55*(1), 33–43. <https://doi.org/10.1007/s11103-004-0394-9>
- Friedman, M. (2004). Analysis of biologically active compounds in potatoes (*Solanum tuberosum*), tomatoes (*Lycopersicon esculentum*), and jimson weed (*Datura stramonium*) seeds. *Journal of Chromatography A*, *1054*(1–2), 143–155. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.04.049>
- Friedman, M. (2013). Anticarcinogenic, cardioprotective, and other health benefits of tomato compounds lycopene, ??-tomatine, and tomatidine in pure form and in fresh and processed tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*(40), 9534–9550. <https://doi.org/10.1021/jf402654e>
- Friedman, M. (2015). Chemistry and Anticarcinogenic Mechanisms of Glycoalkaloids Produced by Eggplants, Potatoes, and Tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *63*(13), 3323–3337. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00818>
- Fujiwara, Y., Takaki, A., Uehara, Y., Ikeda, T., Okawa, M., Yamauchi, K., ... Nohara, T. (2004). Tomato steroidal alkaloid glycosides, esculeosides a and B, from ripe fruits. *Tetrahedron*, *60*(22), 4915–4920. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2004.03.088>
- García-Herrera, P., Sánchez-Mata, M. C., Cámara, M., Fernández-Ruiz, V., Díez-Marqués, C., Molina, M., & Tardío, J. (2014). Nutrient composition of six wild edible Mediterranean Asteraceae plants of dietary interest. *Journal of Food Composition and Analysis*, *34*(2), 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.02.009>
- 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>
- Guerrero, J. G. (1998). Mineral nutrient composition of edible wild plants. ... *of Food*

- Composition ...*, 328, 322–328. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157598905944>
- Guil-Guerrero, J. L., & Reboloso-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>
- Guimarães, R., Barros, L., Dueñas, M., Carvalho, A. M., Queiroz, M. J. R. P., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. F. R. (2013). Characterisation of phenolic compounds in wild fruits from Northeastern Portugal. *Food Chemistry*, 141(4), 3721–3730. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.071>
- Hancock, J. F. (2004). *Plant Evolution and the Origin of Crop species* (2 Ed). CABI Publishing.
- Hernandez-Marin, E., Galano, A., & Martínez, A. (2013). Cis carotenoids: Colorful molecules and free radical quenchers. *Journal of Physical Chemistry B*, 117(15), 4050–4061. <https://doi.org/10.1021/jp401647n>
- Horticultura, C. E. De. (2002). artículo Pese a ser conocido en Europa desde esculentum : una breve historia del tomate artículo, (siglo XVI).
- International Plant Genetic Resources Instit., (IPGRI). (1996). Descriptors for Tomato (*Lycopersicon* spp.). *Bioversity International: Research for Development in Agricultural and Tree Biodiversity*, 44. Retrieved from <https://www.bioversityinternational.org/e-library/publications/detail/descriptors-for-tomato-lycopersicon-spp/>
- Jackson, P., & Attalla, M. I. (2010). N-Nitrosopiperazines form at high pH in post-combustion capture solutions containing piperazine: a low-energy collisional behaviour study. *Rapid Communications in Mass Spectrometry : RCM*, 24(24), 3567–3577. <https://doi.org/10.1002/rcm>
- Kolberg, M., Pedersen, S., Bastani, N. E., Carlsen, H., Blomhoff, R., & Paur, I. (2015).

Tomato Paste Alters NF- $\kappa$ B and Cancer-Related mRNA Expression in Prostate Cancer Cells, Xenografts, and Xenograft Microenvironment. *Nutrition and Cancer*, 67(2), 305–315. <https://doi.org/10.1080/01635581.2015.990575>

Kono, Y., Shibata, H., Kodama, Y., & Sawa, Y. (1995). The suppression of the N-nitrosating reaction by chlorogenic acid. *The Biochemical Journal*, 312 ( Pt 3, 947–53. Retrieved from <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1136205&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>

Lee, J., Koo, N., & Min, D. B. (2004). Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 3(1), 21–33. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2004.tb00058.x>

Meyer, A. S., Donovan, J. L., Pearson, D. A., Waterhouse, A. L., & Frankel, E. N. (1998). Fruit hydroxycinnamic acids inhibit human low-density lipoprotein oxidation in vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(5), 1783–1787. <https://doi.org/10.1021/jf9708960>

Milner, S. E., Brunton, N. P., Jones, P. W., O'Brien, N. M., Collins, S. G., & Maguire, A. R. (2011). Bioactivities of glycoalkaloids and their aglycones from solanum species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(8), 3454–3484. <https://doi.org/10.1021/jf200439q>

Moco, S., Capanoglu, E., Tikunov, Y., Bino, R. J., Boyacioglu, D., Hall, R. D., ... De Vos, R. C. H. (2007). Tissue specialization at the metabolite level is perceived during the development of tomato fruit. *Journal of Experimental Botany*, 58(15–16), 4131–4146. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm271>

Morliere, P., Patterson, L. K., Santos, C. M. M., Silva, A. M. S., Maziere, J.-C., Filipe, P., ... Santos, R. (2012). The dependence of alpha-tocopheroxyl radical reduction by hydroxy-2,3-diaryl-xanthenes on structure and micro-environment. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 10(10), 2068–2076. <https://doi.org/10.1039/c2ob06612b>

- Nagata, M., & Yamashita, I. (1992). Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Soc. Food Sci. Technol. (Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi)*, 39(102), 925–928. <https://doi.org/10.3136/nskkk1962.39.925>
- Niki, E. (2014). Role of vitamin e as a lipid-soluble peroxy radical scavenger: In vitro and in vivo evidence. *Free Radical Biology and Medicine*. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2013.03.022>
- Nimse, S. B., & Pal, D. (2015). Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC Advances*, 5, 27986–28006. <https://doi.org/10.1039/C4RA13315C>
- Nohara, T., Ono, M., Ikeda, T., Fujiwara, Y., & El-Aasr, M. (2010). The tomato saponin, esculentoside A. *Journal of Natural Products*, 73(10), 1734–1741. <https://doi.org/10.1021/np100311t>
- OMAIAA. (n.d.). Retrieved September 18, 2017, from [http://www.observatorioagricola.pt/item.asp?id\\_item=141](http://www.observatorioagricola.pt/item.asp?id_item=141)
- Packer, L., Weber, S. U., & Rimbach, G. (2001). Symposium: Molecular Mechanisms of Protective Effects of Vitamin E in Atherosclerosis Molecular Aspects of  $\alpha$ -Tocotrienol Antioxidant Action and Cell Signalling 1. *J. Nutr*, 131, 369–373.
- Paiva, S. A. R., & Russell, R. M. (1999). Beta-carotene and other carotenoids as antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition*, 18(5), 426–433. <https://doi.org/10.1080/07315724.1999.10718880>
- Palozza, P., Catalano, A., Simone, R. E., Mele, M. C., & Cittadini, A. (2012). Effect of lycopene and tomato products on cholesterol metabolism. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 61(2), 126–134. <https://doi.org/10.1159/000342077>
- Peng, Y., Zhang, Y., & Ye, J. (2008). Determination of phenolic compounds and ascorbic acid in different fractions of tomato by capillary electrophoresis with electrochemical detection. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(6), 1838–1844.
- Pham-Huy, L. A., He, H., & Pham-Huy, C. (2008). Free radicals, antioxidants in disease

and health. *International Journal of Biomedical Science : IJBS*, 4(2), 89–96.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0804252105>

Pinela, J., Barros, L., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2012). Nutritional composition and antioxidant activity of four tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) farmer' varieties in Northeastern Portugal homegardens. *Food and Chemical Toxicology*, 50(3–4), 829–834. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.11.045>

Pinela, J., Barros, L., Dueñas, M., Carvalho, A. M., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. F. R. (2012). Antioxidant activity, ascorbic acid, phenolic compounds and sugars of wild and commercial *Tuberaria lignosa* samples: Effects of drying and oral preparation methods. *Food Chemistry*, 135(3), 1028–1035.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.038>

Pinela, J., Oliveira, M. B. P. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2016a). Bioactive compounds of tomatoes as health promoters. *Natural Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables as Health Promoters, Part II*, 2, 48–91.  
<https://doi.org/10.2174/9781681082431116010006>

Pinela, J., Oliveira, M. B. P. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2016b). CHAPTER 3 Bioactive Compounds of Tomatoes as Health Promoters. *Natural Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables as Health Promoters*, 2, 48–91.  
<https://doi.org/10.2174/9781681082431116010006>

Proença da Cunha, A. (2005). *Farmacognosia e Fitoquímica* (1a ed.). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Quer, P. F. (2000). *Plantas Medicinales El Dioscorides renovado* (2 Ed). Barcelona: Editorial Peninsula.

Reifen, R., Nissenkorn, A., Matas, Z., & Bujanover, Y. (2004). 5-ASA and lycopene decrease the oxidative stress and inflammation induced by iron in rats with colitis. *Journal of Gastroenterology*, 39, 514–519. <https://doi.org/10.1007/s00535-003-1336-z>

Saavedra, T. M., Figueroa, G. A., & Cauhi, J. G. D. (2017). Origin and evolution of tomato

production *Lycopersicon esculentum* in México. *Origem E Evolução Da Produção de Tomate Lycopersicon Esculentum No México.*, 47(3), 1–8.  
<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160526>

Sanmartin, M., Davey, M. W., Montagu, M. Van, Inze, D., Kanellis, A., Smirnoff, N., ... Fletcher, J. (2000). Review Plant L -ascorbic acid : chemistry , function , metabolism , bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 860(December 1999), 825–860. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0010\(20000515\)80:7<825::aid-jsfa598>3.0.co;2-6](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0010(20000515)80:7<825::aid-jsfa598>3.0.co;2-6)

Sato, Y., Itagaki, S., Kurokawa, T., Ogura, J., Kobayashi, M., Hirano, T., ... Iseki, K. (2011). In vitro and in vivo antioxidant properties of chlorogenic acid and caffeic acid. *International Journal of Pharmaceutics*, 403(1–2), 136–138.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2010.09.035>

Shi, J. (2000). Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing. *Critical Reviews in Biotechnology*, 20(4), 293–334.  
<https://doi.org/10.1080/07388550091144212>

Tanksley, S. D. (2009). The Genetic , Developmental , and Molecular Bases of Fruit Size in Tomato and Shape Variation. *The Plant Cell*, 16(Supplement 2004), 181–190.  
<https://doi.org/10.1105/tpc.018119.S182>

The Plant List. (2015). Retrieved from <http://www.theplantlist.org/>

Trejo-Solís, C., Pedraza-Chaverri, J., Torres-Ramos, M., Jiménez-Farfán, D., Cruz Salgado, A., Serrano-García, N., ... Sotelo, J. (2013). Multiple molecular and cellular mechanisms of action of lycopene in cancer inhibition. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine : eCAM*, 2013(I), 705121.  
<https://doi.org/10.1155/2013/705121>

Vallverdú-Queralt, A., Medina-Remón, A., Martínez-Huélamo, M., Jáuregui, O., Andres-Lacueva, C., & Lamuela-Raventos, R. M. (2011). Phenolic profile and hydrophilic antioxidant capacity as chemotaxonomic markers of tomato varieties. *Journal of*

*Agricultural and Food Chemistry*, 59(8), 3994–4001.

<https://doi.org/10.1021/jf104400g>

Zhang, J., Hou, X., Ahmad, H., Zhang, H., Zhang, L., & Wang, T. (2014). Assessment of free radicals scavenging activity of seven natural pigments and protective effects in AAPH-challenged chicken erythrocytes. *Food Chemistry*, 145, 57–65.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.025>