



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Universitat Politècnica de València

GRADO EN BIOTECNOLOGÍA

**Análisis de la mejora genética de la calidad del  
pimiento (*Capsicum* spp.)**

CURSO ACADÉMICO 2019-2020

Trabajo presentado por D. Agustín Sánchez Belmonte

Tutor académico: Prof. D. Miguel Leiva Brondo

Valencia, julio de 2020

# AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor Miguel Leiva todo su apoyo en el trabajo, sus consejos académicos y no académicos, su predisposición en todo momento y su bien hacer. Por otra parte, agradecer a mis padres el apoyo durante estos cuatro años, no solo en lo económico, si no emocional, permitiendo mi desarrollo académico de la mejor manera posible. Además, agradecer a mis hermanos que hayan sido siempre un ejemplo a seguir para mí.

**Título:** Análisis de la mejora genética de la calidad del pimiento (*Capsicum* spp.)

**Autor:** Agustín Sánchez Belmonte

**Localidad y fecha:** Valencia, julio de 2020

**Tutor académico:** D. Miguel Leiva Brondo

## Resumen

Nuevos retos como el crecimiento de la población hacen necesaria la búsqueda de más alimentos, pero con un mayor contenido en compuestos nutricionales beneficiosos para la salud. Este hecho ha llevado a la industria alimentaria a buscar procesos que aumente la calidad nutricional de los alimentos, y a las empresas de mejora a desarrollar variedades más productivas, pero con mayor contenido en compuestos nutricionales.

El pimiento (*Capsicum* spp.) es una hortaliza de origen americano de las más cultivadas y consumidas del mundo. Es importante por su amplia variedad de tipos y de aplicaciones en la gastronomía. Una de sus principales características es su elevada calidad tanto a nivel organoléptico como funcional, destacando por ser uno de los cultivos con mayor contenido en ácido L-ascórbico, polifenoles y carotenoides.

El objetivo de la presente revisión es el estudio y análisis del cultivo del pimiento y sus compuestos nutricionales y los ensayos realizados para lograr aumentar su valor nutricional.

Para llevar a acabo el siguiente estudio se ha realizado una primera parte donde estudiaremos en detalle las características del pimiento como su botánica, morfología, propiedades organolépticas y nutricionales.

En una segunda parte se ha realizado un análisis de los parámetros relacionados con la calidad de una hortaliza como el pimiento, haciendo énfasis en la calidad organoléptica, nutricional y ambiental.

Y en la última parte estudiaremos los progresos realizados en la mejora de la calidad del pimiento. En esta parte es donde reside la importancia del estudio, ya que el pimiento tiene una gran cantidad de componentes antioxidantes naturales como pueden ser el ácido L-ascórbico, los carotenoides o los polifenoles y otros componentes que podrían estar implicados en la prevención de enfermedades. La composición del pimiento está determinada por factores genéticos, pero también por efectos ambientales y su interacción por lo que se analizará la influencia de estos factores y los esfuerzos de mejora realizados y sus resultados en diferentes variedades y especies del género *Capsicum*.

Los estudios llevados a cabo en el presente trabajo podrán ser utilizados como fuente de información para futuros programas de mejora en pimiento para la obtención de variedades con una mayor calidad y mayor valor económico en el mercado.

**Palabras clave:** *Capsicum* spp., ácido L-ascórbico, polifenoles, carotenoides y flavonoides.

# *Índice*

# ÍNDICE

<b>1. CAPSICUM SPP. L.</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Taxonomía y morfología</b>	<b>1</b>
1.1.1 <i>Capsicum annuum</i> L.	2
1.1.2 <i>Capsicum baccatum</i> L.	3
1.1.3 <i>Capsicum chinense</i> Jacq.	4
1.1.4 <i>Capsicum frutescens</i> L.	4
1.1.5 <i>Capsicum pubescens</i> Ruiz & Pav.	5
<b>1.2 Origen, domesticación y difusión</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Economía y datos de producción</b>	<b>8</b>
<b>1.4 Variedades</b>	<b>10</b>
1.4.1 Variedades botánicas	10
1.4.2 Variedades comerciales	10
1.4.2.1 Variedades dulces	10
1.4.2.2 Variedades de sabor picante	11
1.4.2.3 Variedades para la obtención de pimentón	11
<b>1.5 Condiciones y formas de cultivo</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
<b>3. CALIDAD</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Organoléptica</b>	<b>14</b>
<b>3.2 Nutricional</b>	<b>15</b>
3.2.1 Carotenoides	15
3.2.2 Vitaminas	16
3.2.3 Compuestos fenólicos	18
3.2.4 Compuestos con azufre	19
<b>3.3 Ambiental</b>	<b>19</b>
<b>4. CALIDAD DEL PIMIENTO Y MEJORA GENÉTICA</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Factores de calidad en pimiento</b>	<b>20</b>
4.1.1 Calidad organoléptica	20
4.1.2 Poder colorante	23
4.1.3 Calidad nutricional	24
4.1.4 Calidad externa	25
<b>4.2 Mejora genética</b>	<b>25</b>
4.2.1 Variabilidad genética	26
4.2.1.1 Azúcares y ácidos	26
4.2.1.2 Vitamina C	26

4.2.1.3 Carotenoides	27
4.2.1.4 Polifenoles	29
4.2.1.5 Capsaicinoides	29
4.2.1.6 Compuestos volátiles	30
4.2.2 Variabilidad ambiental	31
4.2.2.1 Vitamina C	31
4.2.2.2 Carotenoides	32
4.2.2.3 Polifenoles	33
4.2.2.4 Capsaicinoides	34
4.2.2.5 Compuestos volátiles	35
5. CONCLUSIONES	36
6. BIBLIOGRAFÍA	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de <i>Capsicum</i> (Bosland & Votava, 2003).	1
Figura 2. Detalle de la morfología de la flor, del fruto y de la planta de la especie <i>Capsicum annuum</i> (Cortesía de José Vicente Valcárcel).	3
Figura 3. Detalle de la morfología de la flor y del fruto de la especie <i>C. baccatum</i> (Cortesía de José Vicente Valcárcel).	4
Figura 4. Detalle de la morfología de la flor, del fruto y de la constricción anular del fruto de la especie <i>C. chinense</i> (Cortesía de José Vicente Valcárcel).	4
Figura 5. Detalle de la morfología de la flor, el fruto y la planta de la especie <i>C. frutescens</i> (Cortesía de José Vicente Valcárcel).	5
Figura 6. Detalle de la morfología de la flor y el fruto de la especie <i>C. pubescens</i> (Cortesía de José Vicente Valcárcel).	5
Figura 7. Origen de <i>Capsicum</i> (McLeod et al., 1982).	6
Figura 8. Distribución de las diferentes especies del género <i>Capsicum</i> tras la llegada de Colón en América (Chiou & Hastorf, 2014).	7
Figura 9. Producción mundial de pimiento de 2018 de pimiento seco (a) y fresco (b) (FAOSTAT, 2020).	8
Figura 10. Evolución de producción y área cosechada de pimiento en el mundo de pimiento seco (a) y fresco (b) (FAOSTAT, 2020).	9
Figura 11. Producción total de pimiento en 2019 (MAPAMA, 2020).	9
Figura 12. Sensaciones asociadas a los sentidos (Echeverría et al., 2008).	15
Figura 13. Diferentes carotenoides (Rao & Rao, 2007).	16
Figura 14. Estructura química del ácido L-ascórbico (a), colecalfiferol (b), ergocalciferol (c) y tocoferol (d) (Wikipedia, 2020).	18
Figura 15. Estructura química de la quercetina (Wikipedia, 2020).	19

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias morfológicas entre especies del género <i>Capsicum</i> (Chiou & Hastorf, 2014).....	2
Tabla 2. Capsaicinoides del pimiento (Korkutata & Kavaz, 2015; Llácer, 2006). .....	21
Tabla 3. Carotenoides del pimiento (Llácer, 2006). .....	23
Tabla 4. Contenido de carotenoides (Baenas et al., 2019; Guil-Guerrero et al., 2006). .....	24
Tabla 5. Información nutricional del pimiento (100 g) (Baenas et al., 2019; Guil-Guerrero et al., 2006)....	25

*Capsicum* spp. L

# 1. *Capsicum* spp. L.

## 1.1 Taxonomía y morfología

El pimiento (*Capsicum* spp. L.), comúnmente llamado también chili (Korkutata & Kavaz, 2015), es una hortaliza de la familia de las solanáceas, una familia muy importante en la economía mundial. Además del pimiento, en esta familia están incluido el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), la patata (*Solanum tuberosum* L.), la petunia (*Petunia* Juss.), el tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) o la berenjena (*Solanum melongena* L.) (Dewitt & Bosland, 1996). Todas las formas de pimientos, chiles o ajíes utilizadas por el hombre pertenecen al género *Capsicum*. El nombre científico del género fue acuñado por Carl Nilsson Linnaeus en 1799 en el libro “Species Plantarum”, libro importantísimo en la botánica, ya que sirvió como punto de partida para la nomenclatura de muchas especies (Linnaeus, 1799). El nombre del género deriva según algunos autores, del griego *Kapso* (picar) y según otros, de *Kapsakes* (cápsula), sin embargo, tiene otros muchos nombres dependiendo de la procedencia, entre algunos de ellos encontramos ají, chile, chili, paprika o morrón (Nuez et al., 2003). El género *Capsicum* engloba 40 especies diferentes entre las cuales encontramos una altísima variabilidad genética (Nicolai et al., 2013) y morfológica (Figura 1) (Bosland & Votava, 2003).

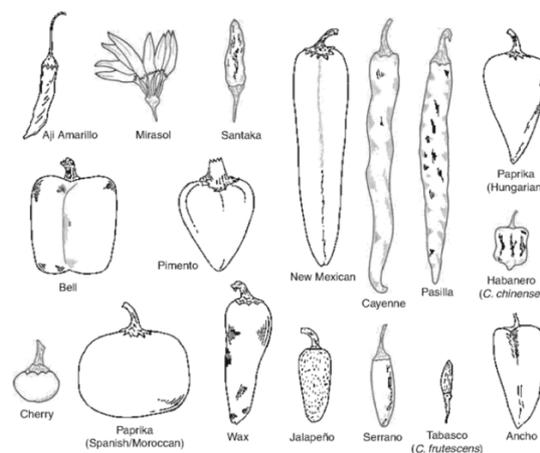


Figura 1. Morfología de *Capsicum* (Bosland & Votava, 2003).

Las especies del género *Capsicum* más interesantes desde un punto de vista agroalimentario y productivo son aquellas que han sido domesticadas por el ser humano debido a un alto proceso de selección y adaptación durante muchos años, sometidas a las necesidades de los agricultores. A partir de especies de diferentes regiones de México, América Central y América del sur, concretamente Bolivia y Perú (Vallespir, 2010), han sido domesticadas cinco especies: *Capsicum annum* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L. and *C. pubescens* Ruiz & Pavon. A continuación, se describen sus principales características.

Podemos observar las diferencias morfológicas (flores, cáliz, corola, anteras y semillas) entre las cinco especies domesticadas del género *Capsicum* en la Tabla 1.

Tabla 1. Diferencias morfológicas entre especies del género *Capsicum* (Chiou & Hastorf, 2014).

Especie	Flores	Cáliz	Corola	Anteras	Semillas
<i>C. annuum</i>	1	No constricción	Blanco	Púrpura	Color Paja
<i>C. baccatum</i>	1	No constricción	Blanco y verdoso	Blanco y amarillo	Color Paja
<i>C. chinense</i>	2	Constricción	Blanco y verdoso	Azules	Color Paja
<i>C. frutescens</i>	2 o más	No constricción	Blanco y verdoso	Púrpura	Color Paja
<i>C. pubescens</i>	1	No constricción	Blanco y púrpura	Púrpura	Color Negro

### 1.1.1 *Capsicum annuum* L.

El antecesor salvaje mas cercano a esta variedad es *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill. Han sido encontradas evidencias de que su domesticación se produjo en México (Chiou & Hastorf, 2014; Kraft et al., 2014), sin embargo, hoy en día puede ser encontrada en diversas zonas de Sudamérica, hasta zonas de América del Norte como Texas o Arizona. La expansión territorial de *C. annuum*, ha provocado que sea la especie más cultivada del mundo, tanto a nivel doméstico como a nivel industrial. Los métodos de mejora genética y adaptación de dicha especie a diferentes características ambientales han provocado que hoy en día existan más de cien variedades (Dewitt & Bosland, 1996). Fue el primer taxón en llegar a Europa y posteriormente se distribuyó por el resto del mundo, ya que ahora mismo es el más extendido (Eshbaugh, 1993).

El crecimiento de esta especie puede ser muy variable con variedades de tipo determinado e indeterminado. La morfología de esta especie es característica por poseer en general una flor solitaria en cada nudo, acompañadas de una o dos hojas. Las hojas pueden variar en forma, tamaño y color dependiendo la variedad, pero en general son simples, completas, simétricas y de color verde. Los pedicelos se suelen pender en la antesis. El color de la corola es blanco (Figura 2), aunque en algunas variedades nos podemos encontrar un color púrpura. Existe ausencia de constricción en la unión del cáliz con el pedicelo y los frutos presentan un espesor de carne muy variable y semillas de color paja (Nuez et al., 2003)(Dewitt & Bosland, 1996). En cuanto a la morfología de la semilla, tiene una forma de riñón con un pico saliente, una textura suave y con ausencia de reticulación (Chiou & Hastorf, 2014). La alta variabilidad del fruto se debe a la increíble selección que ha sufrido la especie adaptándose a distintos ambientes y a las necesidades del agricultor.



Figura 2. Detalle de la morfología de la flor, del fruto y de la planta de la especie *Capsicum annuum* (Cortesía de José Vicente Valcárcel).

Dentro de esta especie destacan algunas variedades botánicas como son *C. annuum* var. *abbreviatum* Fingerh, *C. annuum* L. var. *annuum*, *C. annuum* var. *accuminatum* Fingerh, *C. annuum* var. *grossum* (L.) Sendtner y *C. annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill las cuales tienen diferentes características morfológicas como pueden ser el tamaño de los frutos, la forma o el color. El tamaño es una de las características más importantes en el fruto, y en este caso destaca la variedad *glabriusculum* por su gran tamaño (U.S. Department of agriculture, 2020; Zhigila et al., 2014).

#### 1.1.2 *Capsicum baccatum* L.

Esta especie es la más cultivada en América del Sur y es conocida como Ají. Probablemente fue domesticada en Perú o Bolivia (Chiou & Hastorf, 2014), pero se encuentra en muchos países sudamericanos de su alrededor. Su variedad doméstica tiene el nombre de *C. baccatum* var. *pendulum* (Wild.) Eshbaugh. En cuanto a su morfología, el fruto tiene un tamaño y forma muy variables, desde pequeños y rectos hasta grandes y ovalados, sin embargo, son mayoritarias las formas alargadas. Las plantas son muy altas y tienen varios tallos. Las flores de las corolas son de color blanco y crema con puntos de diferentes colores como marrón, amarillo y verde (Figura 3). Las anteras son de color amarillo. Flores aisladas en cada nudo, y el cáliz de los frutos maduros y el pedicelo carecen de constricción anular en la unión. La carne del fruto es firme, y las semillas, color crema. La morfología de la semilla se caracteriza por su forma ovalada y pico alargado (Chiou & Hastorf, 2014). Destacan por su gran aportación tanto en aroma como en sabor a la comida. También tiene una alta variabilidad morfológica, ya que ha sufrido un alto proceso de selección por los agricultores desde épocas precolombinas (Dewitt & Bosland, 1996; Nuez et al., 2003). Algunas de las variedades botánicas más importantes en esta especie son *C. baccatum* L. var. *baccatum*, *Capsicum baccatum* L. var. *pendulum* (Wild.) Eshbaugh, *C. baccatum* L. var. *praetermissum* (Heiser & P. G. Sm.) Hunz y *Capsicum baccatum* L. var. *umbilicatum* (Vell.) Hunz. & Barboza (U.S. Department of agriculture, 2020).



Figura 3. Detalle de la morfología de la flor y del fruto de la especie *C. baccatum* (Cortesía de José Vicente Valcárcel).

### 1.1.3 *Capsicum chinense* Jacq.

Como el resto de las especies es originaria del hemisferio oeste y fue domesticada en la zona noroeste amazónica (Chiou & Hastorf, 2014), sin embargo, fue llamada así por que el físico alemán Kikolaus von Jacquinomist en 1776 que le dio nombre a esta especie porque creía que se originó en China. Aunque es una especie típica de todas las regiones tropicales, es la más famosa en el Caribe (Dewitt & Bosland, 1996). Además, ha sido demostrada su alta variabilidad genética (Moreira et al., 2018)

La morfología de los frutos vuelve a ser muy diversa (Figura 4) y los frutos destacan principalmente por su potente aroma y picor, ya que se incluyen los tipos varietales más picantes del mundo, como los “Habaneros”. La altura de las plantas es menor a la anterior especie, pero depende mucho de las condiciones ambientales. Tiene múltiples tallos y el color de las hojas va desde un color pálido hasta verde. Las flores de la corola son blancas y rectas, con anteras púrpuras, presenta dos o más flores en cada nudo y es capaz de producir de dos a seis frutos por nudo, cuya forma es acampanada y alargada, terminando en punta (Figura 4). La semilla de esta especie se caracteriza por una forma circular con una abertura de sujeción, contiene un pico prominente y tiene una textura lisa con un poco de reticulación (Chiou & Hastorf, 2014). En esta especie, si existe la constricción entre el cáliz y el pedicelo. Las semillas necesitan un largo periodo para germinar además de humedad y noches cálidas (Dewitt & Bosland, 1996).



Figura 4. Detalle de la morfología de la flor, del fruto y de la constricción anular del fruto de la especie *C. chinense* (Cortesía de José Vicente Valcárcel).

### 1.1.4 *Capsicum frutescens* L.

“Tabasco” es el cultivar de *Capsicum frutescens* por excelencia. Fue domesticado en la parte noroeste de la selva amazónica (Chiou & Hastorf, 2014). En cuanto a su morfología, las hojas son ovaladas, las flores son verdes y blancas con las anteras púrpuras (Figura 5). La producción de frutos de una planta concreta de esta especie disminuye paulatinamente cada año de cultivo. La característica principal de su fruto es la pungencia. El color del fruto puede variar desde amarillo,

verde o hasta rojo. El tamaño, color y forma del fruto es mucho más homogéneo en esta especie debido a la escasez de domesticación de dicha especie. Su diversidad morfológica es pobre. El cáliz en los frutos no presenta constricción anular en la unión con el pedicelo (Dewitt & Bosland, 1996). La morfología de la semilla de esta especie se caracteriza por su forma de lágrima con un pico que sobresale y su textura es suave (Chiou & Hastorf, 2014).



Figura 5. Detalle de la morfología de la flor, el fruto y la planta de la especie *C. frutescens* (Cortesía de José Vicente Valcárcel).

#### 1.1.5 *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.

Este pimiento fue descrito por primera vez en 1790 por Ruiz y Pavón en Perú (Ruiz & Pavón, 1794). La peculiaridad de esta especie es que no existe en forma salvaje. Puede ser una de las plantas con anterior domesticación de América, que se produjo en Bolivia (Chiou & Hastorf, 2014). Este pimiento es llamado de diferentes formas alrededor del mundo, un ejemplo es España, que lo llama “rocoto” (Eshbaugh, 2012).

En cuanto a su morfología, sus semillas son de color negro, quizás su mayor distinción con otras especies cuyo color son pardos, amarillos, color paja o bronceadas. Además, su forma es ovalada, ausencia de pico prominente y su superficie es altamente reticulada (Chiou & Hastorf, 2014). Es una planta de gran tamaño que puede llegar a vivir 10 años de manera silvestre. Sus hojas son ovaladas de color verde claro hasta verde oscuro. El cultivo de esta especie está adaptado a zonas frías y por ello impresiona su capacidad de adaptación al medio. El cáliz de los frutos maduros no tiene constricción anular en la unión con el pedicelo. Al contrario que otras especies, tiene flores solitarias púrpuras con largos nectarios y el tamaño de los frutos es menor que otras especies (Figura 6). El color de los frutos es verde en estado inmaduro y en su madurez alcanzan colores más vivos como el amarillo, naranja o rojo (Figura 6). Algunas de sus características son la suavidad, picante y jugosidad. Es muy utilizado en salsas (Dewitt & Bosland, 1996).



Figura 6. Detalle de la morfología de la flor y el fruto de la especie *C. pubescens* (Cortesía de José Vicente Valcárcel).

## 1.2 Origen, domesticación y difusión

En general, el género *Capsicum* es originario del hemisferio occidental (América). El pimiento, es una hortaliza que se ha sido cultivada en América desde épocas precolombinas, y extendiéndose por todo el mundo tras la llegada de Colón a las Américas (Perry et al., 2007). Se han realizados numerosos estudios para conocer el origen real de dicho cultivo, estudios arqueológicos, ecológicos, paleobiolingüísticos (Brown et al., 2013) y genéticos basados en marcadores moleculares y polimorfismos (Carrizo García et al., 2016; Kraft et al., 2014). En cuanto a las evidencias arqueológicas, destacan los estudios realizados de piedras y el uso de chiles para mejorar el sabor de las comidas hace 6500 años (Bagheri, 2010). Hay evidencias de que la gran mayoría de especies que conforman el género *Capsicum* provienen de la zona sud-central de Bolivia, (Figura 7), y del sur de Brasil. Esta localización fue un núcleo de aparición de especies ancestrales silvestres del género *Capsicum* (McLeod et al., 1982). Esta región es característica por tener una gran elevación, con una media superior a los 2.000 metros, debido a que es una zona muy montañosa. Se considera que el clima de esta zona es semiárido, con unas precipitaciones de 500 mm anual, aunque también se pueden encontrar cerca valles como Valle Grande donde el clima es subtropical donde la humedad es muy elevada (Unzueta, 1975). A pesar de estas evidencias científicas, nuevos estudios sugieren que el origen del género *Capsicum* se pudo protagonizar en la zona de los Andes, incluyendo los países de Perú, Ecuador y Colombia (Carrizo García et al., 2016). El área del origen del género *Capsicum* fue muy amplia y es difícil saber con exactitud su nacimiento real.

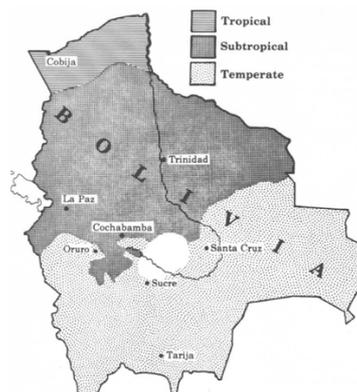


Figura 7. Origen de *Capsicum* (McLeod et al., 1982).

En cuanto a la migración desde el lugar de origen existen varias teorías, pero la más contrastada y aceptada por los diferentes científicos es, que desde esta zona se produjo una migración hacia el sur y hacia el norte. La primera se produjo con ayuda del río Mizque, alcanzando tierras amazónicas. En esta migración hacia el sur del grupo de flores blancas se fueron originados los ancestros de *C. baccatum*, aprovechando la cuenca amazónica para su dispersión. De esta migración nacería la especie silvestre de *C. annum* que se dividiría posteriormente en *C. annum* la especie más cultivada y difundida, *C. chinense* y *C. frutescens*. Además, se produjo otra migración hacia el norte del grupo de flores púrpura que llegaría hasta los Andes, dando lugar a la especie silvestre *C. cardenasii* Heiser & P. G. Sm. y posteriormente la especie domesticada de hoy en día *C. pubescens* (McLeod et al., 1982). Además, se produjo una migración por otros medios naturales como los animales, entre ellos los pájaros, y migración de forma artificial, como la migración producida por los humanos (Chiou & Hastorf, 2014). En estudios más recientes, se han observado zonas importantes de diversificación del género *Capsicum*, como la zona amazónica, la zona de los Andes o Bolivia (Carrizo García et al., 2016).

Tras la llega de Colón a las Américas se produjo la llegada de algunas especies de *Capsicum* a España y África en 1493 y posteriormente llegarían a la India en 1542, introduciéndose en la

cultura culinaria de todos los países y llegando a ser un elemento importante en algunos de sus platos tradicionales (Nunn & Quian, 2010). Además, también se produjo una distribución de las distintas especies dentro del continente americano tras la llegada de los europeos. La especie *C. annum* se estableció en Centroamérica, *C. baccatum* en Bolivia y zona sud-amazónica, *C. chinense* y *C. frutescens* distribuyó por toda la zona amazónica alcanzando zonas de Centroamérica y *C. pubescens* se distribuyó por los Andes (Figura 8) (Chiou & Hastorf, 2014).



Figura 8. Distribución de las diferentes especies del género *Capsicum* tras la llegada de Colón en América (Chiou & Hastorf, 2014).

Aunque es aceptada por la comunidad científica que el origen del género *Capsicum* fue en Bolivia (McLeod et al., 1982), la domesticación de cada uno de las especies domesticadas de hoy en día se produjo en diferentes lugares de América. *C. annum* fue domesticada en México o el norte de América Central (Bagheri, 2010), *C. frutescens* en el noroeste de la zona amazónica, *C. baccatum* en Bolivia, *C. chinense* en el norte de la zona amazónica y *C. pubescens* en el sur de los Andes (Chiou & Hastorf, 2014; Eshbaugh, 1993; Perry et al., 2007).

En cuanto a la especie *C. pubescens*, está relacionada genéticamente con dos taxones silvestres que son *C. eximium* Hunz. y *C. cardenasii* los cuales se dan principalmente en Bolivia, por ello el origen de la especie domesticada *C. pubescens* se piensa que fue en Bolivia (Pickersgill, 1997). La especie *C. baccatum* var. *pendulum* está distribuida desde Perú a Brasil, así como su variedad silvestre *C. baccatum* var. *baccatum* sin embargo, su mayor centro de diversificación se encuentra en Bolivia, por ello se acepta como su origen. En cuanto a las especies del complejo *annuum* (*C. annum*, *C. chinense* y *C. frutescens*) es difícil separar estas tres especies e identificar sus respectivos taxones salvajes más cercanos por su similitud genética, sin embargo, en *C. annum* se ha observado que la pimienta de pájaro (*C. annum* var. *glabriusculum*) es el taxón más cercano genéticamente hablando y cuyo origen se encuentra en México por la aparición de un centro de diversificación. La especie *C. chinense* tiene un centro de diversificación en la selva amazónica y produjo una expansión hacia El Caribe (Eshbaugh, 1993)

El género *Capsicum* tuvo una gran diversidad de usos tradicionales, empezando por los usos culinarios, como alimento, especia o colorante, pero también ha tenido otros como ingrediente farmacéutico o medicinal en varias terapias, agente bactericida o spray de autodefensa (Korkutata & Kavaz, 2015; Tundis et al., 2013; Zimmer et al., 2012).

La domesticación de *Capsicum* probablemente se produjo mediante una selección por nuestros antepasados de semillas para la próxima temporada de plantas silvestres, dando lugar a la mejora de los atributos del fruto, como el tamaño, el color, la forma y el sabor. La especie domestica comercial más globalizada e importante a nivel mundial es *C. annuum* var. *annuum* (Bagheri, 2010). Se han realizados algunos estudios filogenéticos basándose en las semillas de los frutos y marcadores moleculares para identificar como se ha producido la domesticación de cada especie y observar la distancia genética que existe entre las diferentes especies domesticadas. Las especies *C. annuum*, *C. chinense* y *C. frutescens* son las que menos distancia genética tienen, por ello forman el llamado “complejo *annuum*”, sin embargo, *C. pubescens* y *C. baccatum* se encuentran en otros agrupamientos distintos diferentes (Carrizo García et al., 2016; Chiou & Hastorf, 2014). Esta domesticación producida en el pimiento y en muchas otras plantas silvestres ha producido en ellas, un fenómeno llamado “erosión genética”. La dura y estricta selección producida por los agricultores para obtener una mayor producción de fruto en cada uno de los diferentes ambientes y condiciones, ha llevado a una pérdida de alelos con baja frecuencia alélica, y así como consecuencia, la pérdida de la variación genética. Mediante marcadores moleculares pueden ser detectados los cambios genéticos producidos en las plantaciones debido a cualquier práctica agraria determinada o cambios en las condiciones ambientales (Portis et al., 2004).

### 1.3 Economía y datos de producción

Todos los datos de producción han sido obtenidos de la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la ganadería (FAO) y del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). En 2018, el área cosechada de pimiento seco fue 1,7 millones de hectáreas y de pimiento fresco 1,9 millones de hectáreas, la producción de pimiento seco es de 4,1 millones de toneladas y de pimiento fresco 36 millones de toneladas y el rendimiento de pimiento seco es de 2.300 kg/ha y de pimiento fresco 185.000 hg/ha. Podemos observar como los líderes en la producción de pimiento seco son México, países asiáticos como China o la India y africanos como Egipto (Figura 9). La producción de estos países alcanza más de 50.000 toneladas al año. En cuanto a la producción de pimiento fresco China es el líder en la clasificación, ya que en 2018 llegó a producir casi 20 millones de toneladas (FAOSTAT, 2020).

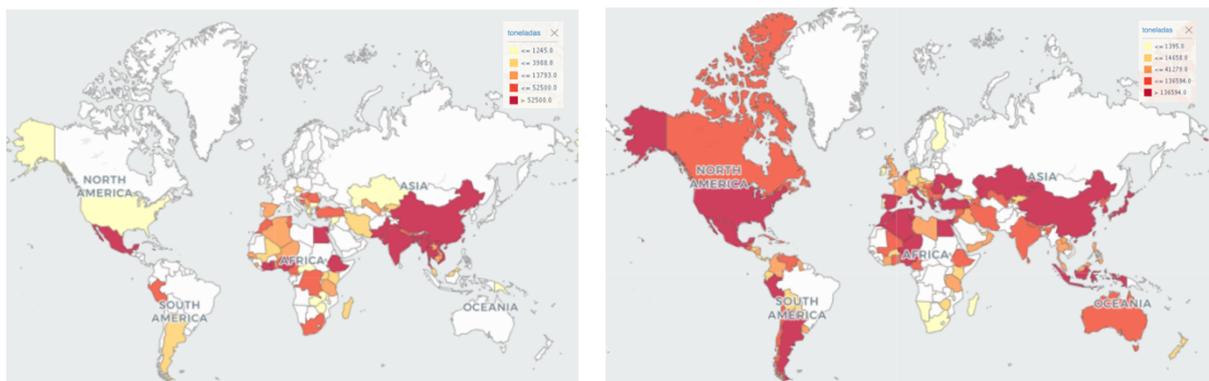


Figura 9. Producción mundial de pimiento de 2018 de pimiento seco (a) y fresco (b) (FAOSTAT, 2020).

Es interesante observar como ha evolucionado la producción y el área cosechada en el mundo de pimiento. Para ello se han recopilado datos desde el año 1961 a 2018 de pimiento seco y fresco (Figura 10). La demanda de más alimento para una población mundial en crecimiento exponencial ha afectado también a la producción y área cosechada de pimiento. Con estos datos se puede observar la mejora del rendimiento de los cultivos, debido a la mejora de las técnicas y condiciones de cultivo, uso de regadío o nuevas variedades.

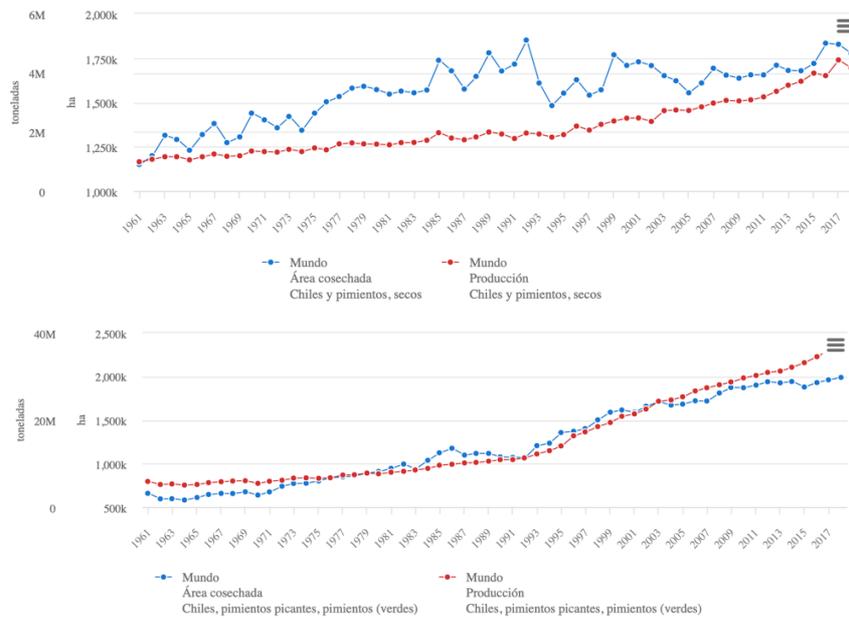


Figura 10. Evolución de producción y área cosechada de pimiento en el mundo de pimiento seco (a) y fresco (b) (FAOSTAT, 2020).

A nivel europeo los datos obtenidos de 2018 de la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la ganadería (FAO) muestran que el mayor productor de pimiento fresco es España con 1,2 millones de toneladas, mientras que el mayor productor de pimiento seco de Europa es Rumanía con una cantidad de 50.000 toneladas. El mejor rendimiento de 2018 de Europa fue conseguido en pimiento fresco por Reino Unido con 318.581 kg/ha y en pimiento seco por Hungría con 9.582 kg/ha. Esta gran diferencia se debe a que la mayoría de estos países el cultivo se realiza bajo invernaderos utilizando altas tecnologías y consumos energéticos teniendo como objetivo una producción continua todo el año (FAOSTAT, 2020). En España se gastan 150 millones de dólares debido a importaciones de pimientos, y se generan 1.300 millones de dólares debido a las exportaciones a otros países (FAOSTAT, 2020). La producción de pimiento en España llega a los 1,4 millones de toneladas. Estudiando los datos por Comunidades Autónomas, destacan en la producción Andalucía, que alcanza casi 1 millón de toneladas, y la Región de Murcia (Figura 11). En cuanto al rendimiento, el máximo valor de 2019 lo encontramos en regadío protegido en Extremadura, que alcanza 200.000 kg/ha. La mayoría de la producción española se produce en invernaderos y en condiciones de regadío, ya que mejora producción (MAPAMA, 2020).

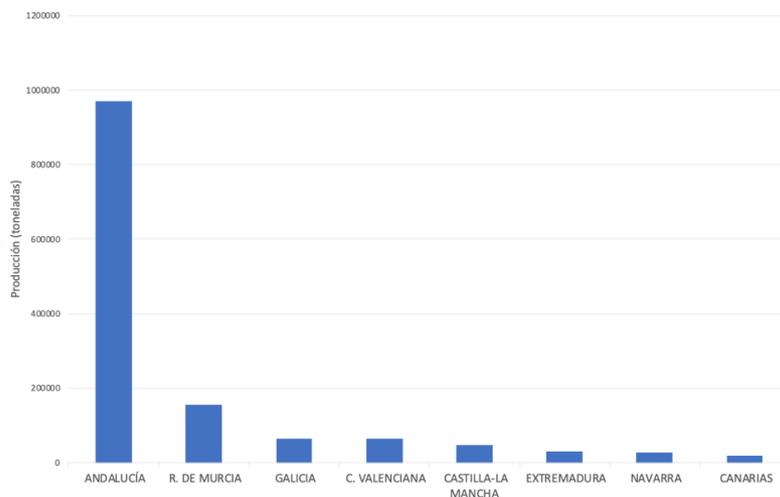


Figura 11. Producción total de pimiento en 2019 (MAPAMA, 2020).

## 1.4 Variedades

Cuando se habla de variedades de una especie es importante diferenciar entre las variedades botánicas, que se refiere a la clasificación de variedades por los investigadores, las cuales son utilizadas en los programas de mejora para la obtención de una variedad superior en cuanto a sus atributos de calidad y producción, y las variedades comerciales, que son aquellas que nos encontramos en el mercado y son demandadas por el agricultor y el consumidor. A menudo las variedades de los frutos están asociados a su modo de consumo. En el pimiento hay dos grupos principalmente diferenciados como es el consumo de pimiento en fresco y procesados, donde entrarían en este grupo conservas o especias. (Eggink et al., 2012).

### 1.4.1 Variedades botánicas

En la especie *C. annuum* podemos encontrar la variedad *Capsicum annuum* L. var. *annuum*, es una de las variedades más importantes, es totalmente cultivada por todo el mundo, tiene importancia económica debido a su uso como aditivo alimenticio para dar sabor a las comidas, además de importancia médica por su contenido en capsaicina, y en esta variedad se encuentran algunas variedades comerciales como el Jalapeño, Serrano, o Pimiento dulce. También podemos encontrar la variedad *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill, esta variedad es nativa de México y Centroamérica, y es cultivada mayoritariamente en México, su riqueza económica reside en su uso en el ámbito culinario y destacan algunas variedades comerciales como el ají o chile pequin (U.S. Department of agriculture, 2020)

En la especie *Capsicum baccatum*, podemos distinguir la variedad *C. baccatum* L. var. *baccatum* que es nativa de Sudamérica (Brasil, Colombia, Perú), *C. baccatum* L. var. *pendulum* (Willd.) Eshbaugh que es cultivado en Sudamérica, *C. baccatum* L. var. *praetermissum* (Heiser & P. G. Sm.) Hunz que es nativa de Sudamérica (Brasil y Paraguay) y *C. baccatum* L. var. *umbilicatum* (Vell.) Hunz. & Barboza que es cultivada por toda América, norte en EE.UU y México y sur en Jamaica, Brasil, Argentina, Bolivia o Perú (U.S. Department of agriculture, 2020).

### 1.4.2 Variedades comerciales

En cuanto a variedades para uso comercial podemos distinguir claramente tres grupos varietales. Un primer grupo destinado para el consumo en fresco del pimiento y en conserva llamadas variedades dulces. Un segundo grupo llamado variedades de sabor picante, es el grupo varietal más importante en Sudamérica debido a su uso tradicional en la cultura culinaria de esta zona. Un tercer grupo que son las variedades dedicadas para la obtención de pimentón. En realidad, este último grupo podría ser incluido como subgrupo dentro del primer grupo de variedades dulces, sin embargo, el proceso industrial pos-cosecha es totalmente diferente (Maroto, 1983).

#### 1.4.2.1 Variedades dulces

Este tipo de variedades normalmente son cultivadas en invernaderos y se caracterizan por tener frutos de gran tamaño, perfectos para el consumo en fresco y la realización de conserva. Este cultivo en invernaderos y con regadío (normalmente por riego localizado) se realiza ya que el fruto necesita esas condiciones debido a la carne gruesa de este. Pueden ser utilizados tanto crudos como cocinados y la peculiaridad de este fruto es que puede ser consumido tanto en estado inmaduro como maduro, con unas propiedades organolépticas y nutricionales diferentes. Destacan tres variedades comerciales (Macua et al., 2020):

Pimiento California, se caracteriza por tener frutos cortos, anchos, con tres o cuatro cascotes y de carne gruesa. El cáliz y el pedúnculo los tienes debajo de la carne de los hombros. Su coloración puede ser muy variada, rojo, amarillo, verde, naranja e incluso en alguna variedad pueden verse coloraciones negras. Su uso culinario es muy amplio y puede ser usado para cocido, sofrito o brasas, sin embargo, en España está empleado para el consumo en fresco o industria congeladora. Debido a las temperaturas exigentes a las que debe de tener la plantación de esta variedad de pimiento, su plantación se produce desde mayo a agosto, evitando así las bajas temperaturas que puedan producirse por la noche (Frutas y Hortalizas, 2020; Larrazabal, 2020; Macua et al., 2020). Pimiento Lamuyo, se caracteriza por tener frutos alargados y cuadrados, de carne gruesa. Esta variedad puede ser cultivada a temperaturas bajas, por lo cual su época de plantación puede ser ampliada. En España tiene las mismas condiciones de cultivo que la variedad California, y su uso es el mismo, el consumo en fresco e industria congeladora como principales usos. (Larrazabal, 2020; Macua et al., 2020). Pimiento dulce italiano o de freír, se caracteriza por tener frutos alargados, estrechos, de carne fina y acabados en punta. Presenta una coloración verde. Su sensibilidad al frío es muy baja, por ello se produce su plantación en épocas menos cálidas como entre los meses de septiembre y octubre (Larrazabal, 2020). Pimiento del piquillo es un pimiento de coloración roja, tamaño pequeño y forma cónica. Sus usos culinarios son el uso para asar o conserva (Larrazabal, 2020). Pimiento Morrón proviene de la zona de América central y Sudamérica. Se caracteriza por su piel lisa, coloración roja intensa, carne gruesa y cuatro lóbulos. Se puede diferenciar según sea destinado para conserva o para consumo en fresco (Frutas y Hortalizas, 2020; Larrazabal, 2020). Otras variedades muy conocidas en España son el Pimiento Valenciano o Temprano de Valencia entre otros.

#### 1.4.2.2 Variedades de sabor picante

Estas variedades se caracterizan por su sabor picante o pungencia, debido al alto contenido de un alcaloide llamado capsaicina. Su consumo puede ser producido en forma de encurtido o crudo. Las variedades más conocidas en España son el de tipo guindilla, Picante Amarillo, Rojo Largo, el de Padrón, Ñora entre otros (Frutas y Hortalizas, 2020).

Pimiento del padrón, este tipo de pimiento es muy rico en sabor, su coloración es verde, la carne es fina y tienen un tamaño pequeño. Este tipo de pimiento se recoge en estado inmaduro y su principal consumo es a las plancha o frito (Larrazabal, 2020). La Ñora es un pimiento utilizado sobre todo en España en la costa mediterránea, se caracteriza por ser un pimiento seco color grana y forma redondeada. Su uso principal es como aditivo en salsas y producción de pimentón (Frutas y Hortalizas, 2020; Larrazabal, 2020). Guindilla se caracteriza por su alta pungencia y es muy importante en la cultura culinaria mexicana. Sus características morfológicas son el tamaño pequeño, coloración roja y muy delgados. Su consumo se produce tanto en fresco como en seco (Larrazabal, 2020).

#### 1.4.2.3 Variedades para la obtención de pimentón

Una de las variedades más utilizadas para la producción de pimentón es la llamada "Bola" de la especie *C. annuum*, que destaca por su bajo porcentaje en pericarpio con relación al peso del fruto ya deshidratado debido al gran tamaño de la placenta y el alto número de semillas en su interior. Una característica diferencial del resto de variedades utilizadas para el pimentón es la ausencia de capsaicina en la variedad "Bola". Otras variedades también utilizadas, pero con menor rendimiento que la variedad llamada "Ocales" que tiene un mayor grado de pungencia (Comarca de la Vera, 2015). La variedad Ñora (Frutas y Hortalizas, 2020)

## 1.5 Condiciones y formas de cultivo

En las plantaciones hay una serie de parámetros importantísimos para obtener una buena eficiencia de los cultivos, así como frutos con unas cualidades óptimas. Entre estos parámetros se encuentra la temperatura, la humedad o pH del suelo. Para cada cultivo se han estudiado los parámetros óptimos para conseguir el mayor rendimiento en cuanto a producción de fruto por área cosechada. En cuanto a la temperatura, para tener un buen desarrollo, el pimiento necesita unas temperaturas diurnas entre los 20 y 25 °C y unas temperaturas nocturnas entre 16 y 18 °C. Si las temperaturas son inferiores a 10 °C el crecimiento del pimiento es nulo y con temperaturas inferiores a 15 °C o superiores a 32 °C se produce un desarrollo anormal. Por otra parte, en cuanto a la humedad o higrometría, los valores óptimos para el pimiento son entre 50 y 70%. Cabe destacar la sensibilidad del pimiento a condiciones ambientales una alta temperatura junto con una baja humedad, además de su sensibilidad a la salinidad. Por último, el pH del suelo es un parámetro muy importante para el pimiento, ya que es importante que este cultivo se encuentre en suelos con una alta riqueza y drenaje. Su pH óptimo se encuentra entre 5,5 y 8. Cabe destacar que el chili tiene una mayor capacidad de adaptación que el pimiento dulce en cuanto a la temperatura, por ello se ha adaptado mejor a temperaturas más altas. En cuanto al pH óptimo, el del chili se encuentra entre el 5,5 y 6,8 (Berke et al., 2005; Kumar et al., 2006; Maroto, 1983). Hay diferentes formas de cultivo, en la que podemos distinguir seco o regadío si hablamos del riego del cultivo, o aire libre o invernadero si hablamos del control de otras condiciones ambientales como puedan ser temperatura, humedad, control de plagas o tipo de riego. En España, la mayoría de pimiento es cultivado en invernaderos, de tipo regadío (MAPAMA, 2020). EL tipo de invernaderos utilizados para este cultivo son los llamados de tipo parral. La importancia en el cultivo de invernadero reside en el control de la temperatura ya que depende del momento debe de variar. Necesitamos una temperatura de siembra de 28 °C, en la fase de semillero de 22 a 24 °C hasta 18 a 20 °C cuando se alcance el momento de la plantación. Una vez plantado se seguirán los mismos parámetros nombrados antes como óptimos (Maroto, 1983). Por otra parte, la fertilización o abonado es un parámetro crucial para el crecimiento de la planta y calidad del fruto. Los componentes más importantes para la planta son N, P, K, Mg y Ca cuya mayor absorción por parte de la planta se produce durante el crecimiento del fruto. Aunque dependiendo de la especie y la variedad pueden variar las cantidades, un programa de fertilización medio podría ser 30-40 Tm/ha de estiércol, 100 UF de N, 90-150 UF de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 200-300 UF de K<sub>2</sub>O. Además se pueden realizar algunas aportaciones de N y K combinadas con los riegos (Maroto, 1983).

El pimiento es una hortaliza que puede ser consumida tanto en estado inmadura, como en estado maduro, además presentan características y atributos diferentes dependiendo de su estado. Es sorprendente la versatilidad de esta hortaliza en el procesamiento de dicha fruta, ya que puede ser consumido en fresco, asado, encurtido o seco. Este último es utilizado para la realización de especias, importantísimas en el mundo culinario (Llácer, 2006). Como hemos nombrado anteriormente el pimiento tiene principalmente cuatro usos, un primer uso es el consumo del pimiento en fresco, un segundo uso es la obtención del pimentón. Este se consigue gracias a la desecación de la capa exterior o cáscara del pimiento. Cuando la ausencia de agua es extrema se produce la llamada molienda. Un tercer uso es el pimiento como conserva y por último el cuarto uso es la obtención de innumerables especias importantísimas en el ámbito culinario de muchas culturas (Vallespir, 2010).

# *Objetivos*

## 2. Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son:

- Realizar una búsqueda bibliográfica respecto a las especies cultivadas del pimiento (*Capsicum* ssp.).
- Realizar una revisión de los principales aspectos relacionados con la calidad de los cultivos.
- Describir los principales compuestos implicados en la calidad del pimiento.
- Analizar los niveles principales de estos compuestos en las distintas especies y las principales variedades utilizadas.

*Calidad*

### 3. Calidad

Si buscamos el significado de “calidad” en el diccionario de la Real Academia Española nos encontramos con lo siguiente; propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor (RAE, 2020). En un producto hortofrutícola, la calidad depende de numerosas cualidades cuya importancia de cada una de ellas varía dependiendo de quién las contemple. El concepto calidad en este contexto es complejo y subjetivo, ya que para el productor equivale a productividad, para el almacenista y transportista la calidad del producto depende de su estabilidad, aspecto, presentación y resistencia a manipulaciones, para el industrial, la calidad depende de la aptitud tecnológica del producto y de la buena aceptabilidad por parte de los consumidores, para los comerciales depende, del aspecto externo y de su calidad organoléptica, ya que hará que el consumidor vuelva a comprar el producto y para los servicios de inspección, depende de sus características microbiológicas y bioquímicas. Por último, cabe destacar la importancia del punto de vista del consumidor, que finalmente es quién debe comprar y consumir el producto. Se ha observado como el consumidor se rige por factores de calidad relacionados con el sabor, aroma, sensación en boca o apariencia externa, además de el precio del producto. Sin embargo, se hace difícil crear un patrón de preferencias del consumidor debido a la subjetividad de estas valoraciones (Eggink et al., 2012; Shewfelt, 2000). Los atributos de calidad de los frutos son variables, dependiendo del tipo de fruto, de la demanda por el consumidor en el mercado y sobre todo el uso final del mismo, ya que los atributos de calidad necesarios nos son los mismos para alimentación humana, alimentación animal, industrias no alimentarias o plantas para el tratamiento de suelos. Con esta información se puede llegar a entender la complejidad del concepto “calidad”. Y no solo depende de dichas características que un consumidor escoja ese producto, ya que depende mucho del contexto en el que se encuentre y de los factores externos, como puede ser la cultura, gastronomía de la zona en la que habita o educación. Es importante remarcar que se producen cambios constantemente en los atributos de calidad de un producto debidos a avances metodológicos y sobre todo requerimientos del mercado, donde finalmente el producto deberá competir con otros, y se cuantificará su valor dependiendo del nivel de estos atributos (Costell, 2002). Podemos distinguir tres tipos de calidades, organoléptica, nutricional y sanitaria (Llácer, 2006).

#### 3.1 Organoléptica

La calidad organoléptica o también llamada sensorial es el conjunto de propiedades de un alimento que provocan diferentes estímulos en el organismo antes, durante y después del consumo de este. En otras palabras, es la cual el consumidor capta a través de sus sentidos, como la vista a la que se llama calidad externa o como el olfato y el gusto a la que se le llama calidad interna (se aprecia al consumir el producto). Al primer tipo de calidad se le atribuyen la forma, el tamaño o el color, al segundo tipo de calidad se le atribuyen el aroma, el sabor o la textura (Llácer, 2006).

Los sentidos tienen un papel muy importante en este tipo de calidad, ya que el sentido de la vista nos permite captar varios atributos externos de los alimentos (en la compra y en el consumo) como la forma del fruto, el color, el tamaño y el brillo principalmente, y otras características como pueda ser la existencia de defectos. Por otra parte, al contactar con el alimento y cogerlo podemos sentir la textura del alimento y la firmeza de este. Al morder el alimento, una serie de sustancias volátiles encargadas de aportar el aroma al fruto son desprendidas y captadas por nuestro sentido del olfato, además de captar una vez más la textura del fruto y gracias a nuestro sistema auditivo captar el ruido o sonido producido por el alimento al ser masticado por nuestros dientes. Por supuesto, el sentido del gusto tiene una importancia especial ya que es el principal

receptor de los diferentes sabores del alimento y finalmente el atributo más importante en lo que a calidad organoléptica se debe (Figura 12). Los principales compuestos del fruto relacionados con el sentido del gusto son los azúcares (glucosa y fructosa) que producen ese sabor dulce característicos de muchos frutos (melón o pimiento dulce), o los ácidos (ácido cítrico), que producen el sabor ácido, otro característico de otros frutos (limón). Todas estas sensaciones captadas por los diferentes sentidos de nuestro organismo nos ayudan a captar también aspectos de la calidad interna del fruto como pueda ser el grado de maduración. Además, es importante mencionar que todos los procesos poscosecha, como manejo, recogida, transporte o almacenamiento, pueden producir cambios o variaciones en la calidad organoléptica de los productos, por es importante seguir protocolos precisos y correctos para mantener su nivel organoléptico (Echeverría et al., 2008).

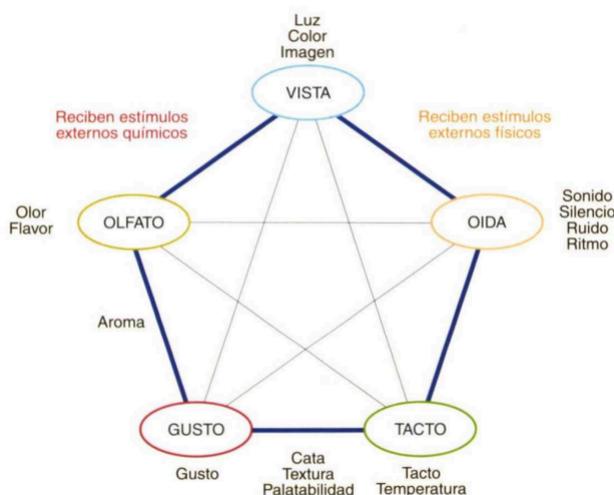


Figura 12. Sensaciones asociadas a los sentidos (Echeverría et al., 2008).

Con el fin de desarrollar un programa de mejora en el cual la calidad organoléptica de un producto sea incrementada se realiza un estudio exhaustivo de las relaciones que existen entre la composición química y la composición física con las características sensoriales del alimento. Además es importante conocer como afectan los cambio en el productos desde el punto de vista del consumidor (Llácer, 2006).

### 3.2 Nutricional

Se habla de calidad nutricional a la capacidad de los alimentos de proporcionar elementos nutritivos que son necesarios para una vida saludable. Dentro de estos elementos nutritivos encontramos macronutrientes, como proteínas, lípidos y carbohidratos, y micronutrientes, como vitaminas, minerales o aminoácidos esenciales (Williamson, 1996). En este tipo de calidad se incluyen las sustancias antioxidantes tan importantes para combatir procesos indeseados en el organismo, como pueden ser cáncer (Ferrazzano et al., 2011) o enfermedades cardiovasculares (Llácer, 2006).

#### 3.2.1 Carotenoides

Los carotenoides son una familia de pigmentos amarillos, rojos o naranjas que se encuentran principalmente en las plantas, los vegetales de hojas verde oscuro y en muchas frutas, granos y aceites, pero no en animales. Estos pigmentos son encontrados en forma trans, aunque mediante el proceso de isomerización también se pueden encontrar en forma cis, pero en menor cantidad. Su principal función es actuar como precursor de la vitamina A, además de actuar como un

importante antioxidante ayudando a combatir estrés oxidativo y siendo beneficioso en algunas enfermedades cardiovasculares o cáncer (Khoo et al., 2011; NIH, 2020). Se conocen más de 600 diferentes carotenoides en la naturaleza, de los cuales 50 son precursores de la vitamina A. Aunque existe una cantidad muy grandes de estos compuestos solo 40 son incluidos en la dieta diaria del ser humano y de esos 40, solo 20 se encuentran en la sangre. Unos de los carotenoides más importantes son el  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno y el licopeno (Figura 13), todos ellos cumplen la función antioxidante (Olson & Krinsky, 1995; Rao & Rao, 2007). Como se ha nombrado antes, los carotenoides tienen una gran importancia en la salud del ser humano que reside en la prevención, tratamiento y manejo de enfermedades crónicas como cáncer, enfermedades cardiovasculares, osteoporosis o hipertensión (Niranjana et al., 2015; Rao & Rao, 2007)

$\beta$ -caroteno es el caroteno más común en las plantas y es una sustancia pigmentaria que predomina en las frutas amarillas y anaranjadas como la zanahoria o el pimiento, y en los vegetales verde oscuro o con hojas como las espinacas (Khoo et al., 2008, 2011). Su importancia reside en que es el principal precursor de la vitamina A en el organismo, además de actuar como antioxidante (Stahl & Sies, 2003) y sus posibles beneficios en algunos tipos de cáncer como el de próstata (Shashirekha et al., 2015). Ha sido observado en numerosos estudios como agente preventivo para diferentes tipos de cáncer, como el cáncer de pulmón (Omenn, 1998).  $\alpha$ -caroteno es un compuesto muy parecido al  $\beta$ -caroteno, que se encuentra en el mismo tipo de alimentos y tiene características muy similares. Es un precursor de la vitamina A y ha sido asociado con una disminución de riesgo de sufrir cáncer, así como con una vida más longeva (Baena Ruiz & Salinas Hernández, 2016).

Licopeno es un carotenoide predominante en el tomate y tiene propiedades antiinflamatorias, efectos antioxidantes y terapéuticos en enfermedades cardiovasculares o tipos de cáncer (Gajowik & Dobrzyńska, 2014; Shashirekha et al., 2015).

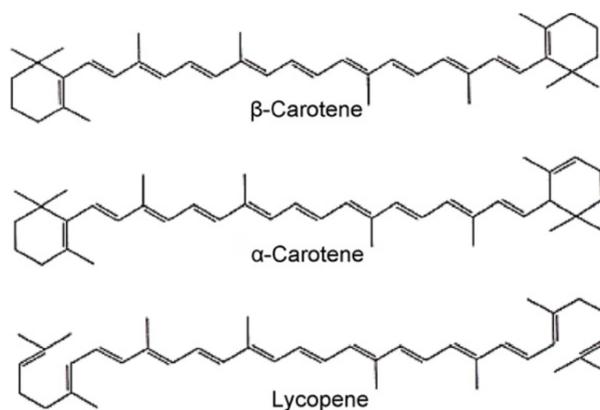


Figura 13. Diferentes carotenoides (Rao & Rao, 2007).

### 3.2.2 Vitaminas

El término vitamina denota que se trata de compuestos necesarios e imprescindibles para el organismo. Esta ha sido el área más estudiada por los científicos, debido a la gran importancia de estas sustancias. Su principal función es la de actuar como antioxidantes. Los radicales libres son especies químicas activas que se crean en los procesos metabólicos de manera natural, o en otros procesos no deseados como son la incidencia de rayos ultravioleta, comidas fritas o contaminantes. Estos radicales libres en el organismo pueden causar complicaciones en el organismo como modificaciones en componentes celulares, desarrollar células cancerosas o provocar estrés oxidativo. Muchas vitaminas tienen la capacidad de minimizar este daño producido por los radicales libres, algunos ejemplos son las vitaminas A, C y D (Williamson, 1996).

La vitamina C o ácido ascórbico (Figura 14) es un compuesto hidrosoluble del grupo de las lactonas, con 6 carbonos, que se encuentra principalmente en frutas y verduras, entre las cuales destacan algunas frutas cítricas como las naranjas, los tomates, el pimiento y el kiwi. En los mamíferos se sintetiza en el hígado a partir de la glucosa, sin embargo en los seres humanos debido a la ausencia de la enzima gulonolactona oxidasa, encargada de sintetizar un precursor de dicha vitamina, su síntesis es imposible de realizar (Padayatty et al., 2003). Por ello, se debe de realizar la ingesta de esta proteína por medio de la dieta diaria. Además, tiene un papel importantísimo al igual que los carotenoides como antioxidante, protegiendo al organismo de los radicales libres que producen un estrés oxidativo en las células. Otras funciones imprescindibles para el organismo de la vitamina C es la producción de colágeno o la absorción de hierro. La cantidad diaria de vitamina C necesaria en adultos son de 90 mg en hombres y 75 mg en mujeres (NIH, 2020) y no menos de 60 mg diarios (Levine et al., 1996). Nuevos estudios han demostrado la actuación y los beneficios del ácido ascórbico en la prevención de varias enfermedades como el cáncer, la anemia, la diabetes o diferentes enfermedades cardiovasculares (Korkutata & Kavaz, 2015). La importancia de este compuesto reside además de su propiedad antioxidante ampliamente conocida, en sus propiedades citotóxicas y apoptóticas, y su capacidad de modular la respuesta inmunitaria, beneficiosas en enfermedades crónicas como el cáncer (Sunil Kumar et al., 2017). El déficit de vitamina C puede causar una enfermedad llamada escorbuto, una enfermedad que puede llegar a ser mortal sin tratamiento y tiene como principal sintomatología cansancio y malestar generalizado, sangrado de encías y casualmente pérdida de dientes, dolor óseo y aparición de manchas cutáneas entre otros (NIH, 2020)

La vitamina D (Figura 14) es un compuesto liposoluble, cuya función es participar en la regulación de calcio y fósforo necesario para un buen funcionamiento y desarrollo de los huesos y dientes. Además, es necesaria en el sistema inmunitario para la defensa contra infecciones, en el sistema nervioso para transmitir el mensaje nervioso o en los músculos para el movimiento. La ingesta diaria de vitamina D recomendada es de 600 UI. Aunque la vitamina D también puede ser sintetizada por nuestro organismo como nuestro cuerpo recibe la luz del sol, es esencial la ingesta de esta vitamina en la alimentación, por ello debe de haber un equilibrio entre la síntesis de vitamina D por el organismo y la ingesta mediante alimentos. Algunos alimentos ricos en vitamina D son el salmón, atún, sardinas o pimiento. Existen diferentes trastornos debidos a la ausencia o déficit de esta vitamina, como el raquitismo. Realmente, cuando hablamos de vitamina D nos referimos a dos moléculas, ergocalciferol o vitamina D2 y colecalciferol o vitamina D3. Esta última es la que se forma en el organismo cuando los rayos ultravioletas son absorbidos por la piel (NIH, 2020). Este compuesto ha sido muy estudiado debido a sus interesantes propiedades como inhibir la proliferación de células cancerosas, inducir apoptosis en células cancerosas o disminución de metástasis y formación de vasos sanguíneos en los tumores. Los resultados más prometedores han sido en el cáncer colorectal, pero también han sido estudiadas estas propiedades en cáncer de mama, pancreático o de hígado. (Gilaberte et al., 2011; Sunil Kumar et al., 2017).

La vitamina E (Figura 14) o tocoferol es un compuesto liposoluble que tiene como función principal la de actuar de antioxidante, minimizando el daño producido a las células por los radicales libres que son producidos en el metabolismo o por sustancias perjudiciales para la salud como el humo o la contaminación. Además, es imprescindible en la estimulación del sistema inmunitario y en la regulación de la coagulación sanguínea. La ingesta diaria de vitamina E recomendada es de 15 mg. Las principales fuentes de vitamina E son los aceites naturales, los frutos secos y las hortalizas como el pimiento. Aunque tiene funciones importantísimas en el organismo, no ha sido demostrado que un suplemento de este compuesto produzca beneficios en la prevención de enfermedades crónicas como el cáncer o enfermedades cardíacas (NIH, 2020; Tundis et al., 2013). El déficit de esta vitamina en el organismo puede provocar algunas enfermedades como pueden ser la enfermedad de Crohn, fibrosis quística o algunas

enfermedades genéticas. Estas complicaciones son causadas por una mala digestión de las grasas en el organismo (NIH, 2020).

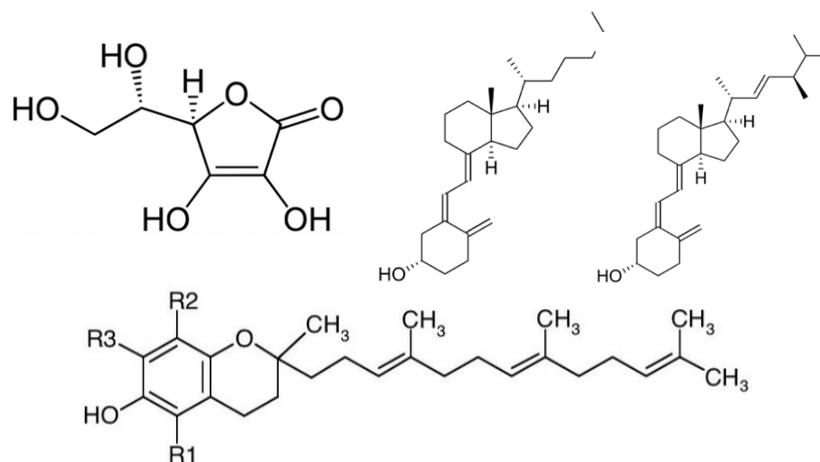


Figura 14. Estructura química del ácido L-ascórbico (a), colecalciferol (b), ergocalciferol (c) y tocoferol (d) (WIKIPEDIA, 2020).

### 3.2.3 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son aquellos que contienen en su estructura molecular un fenol o hidroxibenceno junto a estructuras aromáticas o alifáticas. Estos compuestos no son formados por los animales, si no que son originarios en las plantas como metabolitos secundarios, y es mediante la ingestión de estas plantas como los animales los consiguen. Una característica de estos compuestos fenólicos es que al igual que los carotenoides, contribuyen a la pigmentación de la planta, un ejemplo de compuestos fenólicos que aporten color son las antocianidinas. Otra característica es como afecta al sabor de los alimentos, en primer lugar, aporta un sabor amargo, como el producido por las flavanonas en los cítricos y, en segundo lugar, aportan astringencia como la producida por las proantocianidinas y los taninos en el vino. Por último, también afectan al aroma de los frutos, como el eugenol en el plátano. En general, estas sustancias tienen una influencia directa en la calidad y estabilidad de los alimentos debido a su función colorante y antioxidantes (Dykes & Rooney, 2007), e importancia en el sabor (Gimeno Creus, 2004).

Unos de los compuestos fenólicos más importantes debido a los beneficios que tienen para la salud humana son los flavonoides, que son polifenoles naturales presentes en vegetales, frutas, té y vino. Han sido descritos más de 4.000 compuestos (Williamson, 1996) y han sido estudiados como actúan en el tratamiento contra el cáncer, produciendo inhibición de la proliferación celular, apoptosis de células tumorales, antioxidación, detoxificación de enzimas y regulación de la respuesta inmune (Birt et al., 2001). Además, han sido demostrados otros efectos beneficiosos en la salud humana debido al consumo de flavonoides como una menor mortalidad en enfermedades coronarias o infartos de miocardio (Hertog et al., 1993) y alta actividad antiinflamatoria (Zimmer et al., 2012). En el pimiento, la mayor cantidad de compuestos fenólicos serán los flavonoides, que destacan como hemos dicho antes por tu capacidad antioxidante (Lee et al., 1995). Uno de los flavonoides más importantes en el pimiento es la quercetina (Figura 15) que se incluye en el grupo de los flavonoles, y se encuentra en frutas y vegetales. Podría tener algunas propiedades biológicas como son tener propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias o antioxidantes. Existen algunos ensayos para testar la actuación de la quercetina en enfermedades cardiovasculares o en la inhibición de la proliferación de las células cancerosas (Li et al., 2016; Shashirekha et al., 2015).

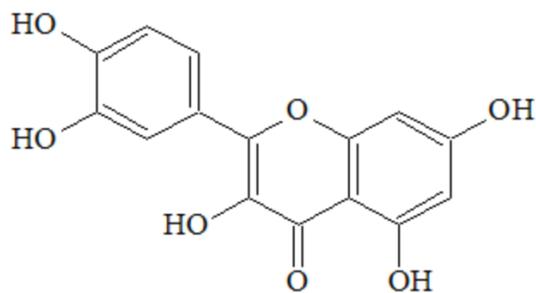


Figura 15. Estructura química de la quercetina (WIKIPEDIA, 2020).

#### 3.2.4 Compuestos con azufre

Estos compuestos no destacan por su capacidad antioxidante como pueden hacer las vitaminas o carotenoides, sin embargo, son potenciadores de esta actividad antioxidante del organismo jugando un papel fundamental en la prevención de enfermedades como el cáncer. Es importante subrayar que altos niveles de estos compuestos como mercaptocetonas (4-sulfanil-2-heptanone) o mercaptoalcoholes (4-sulfanil-2-heptanol) encontrados en *C. annuum* pueden provocar efectos adversos en el organismo (Starkenmann & Niclass, 2011). Estos compuestos pueden ser encontrados en *Alliums*, como el ajo, y *Brassicas*, como el brócoli (Llácer, 2006; Williamson, 1996).

#### 3.3 Ambiental

Se refiere a la ausencia de sustancias tóxicas en el fruto que puedan dañar al ser humano. Se incluyen tanto sustancias tóxicas naturales como pueden ser factores anti nutritivos, así como sustancias tóxicas artificiales (contaminantes químicos o microbianos) (Llácer, 2006). Numerosas sustancias tóxicas son encontradas en los frutos en los procesos de transporte. Manufactura o almacenamiento, entre los que se encuentran plaguicidas, metales pesados, toxinas de diferentes microorganismos como bacterias u hongos, contaminantes orgánicos persistentes, contaminación por aceites, glutamato monosódico, hidrocarburos aromáticos, dioxinas o nitritos. Para lidiar con estos problemas se deben de realizar profundas limpiezas de los frutos, un cuidadoso almacenamiento de los mismos en las mejores condiciones posibles de temperatura e higiene (Peshin et al., 2002)

*Calidad del pimiento*  
*y mejora genética*

## 4. Calidad del pimiento y mejora genética

Los factores de calidad del pimiento son los mismos que los factores de calidad de cualquier fruto, aunque en esta hortaliza además de los atributos anteriormente nombrados destacan dos atributos imprescindibles en el mundo culinario como son la pungencia y el poder colorante (Llácer, 2006). Una de las características más estudiadas en el pimiento ha sido su propiedad antioxidante, gracias a diferentes compuestos que encontramos en su composición como carotenoides, flavonoides o capsaicinoides. Esta capacidad antioxidante ha sido comparada con otras frutas y verduras para observar su magnitud, y para cuantificarla se han realizado diferentes ensayos. Algunos de ellos son la capacidad antioxidante equivalente al trolox (TEAC), el poder de la capacidad de reducción de hierro (FRAP) y la capacidad de absorción de los radicales de oxígeno (ORAC). Los primeros dos están basados en técnicas de transferencia de un solo electrón (SET), mientras que el último está basado en técnicas de transferencia del átomo de hidrogeno (HAT). Ha sido demostrada la alta capacidad antioxidante del pimiento frente al resto de verduras y frutas (Morales-Soto et al., 2014).

### 4.1 Factores de calidad en pimiento

#### 4.1.1 Calidad organoléptica

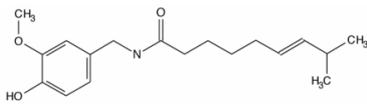
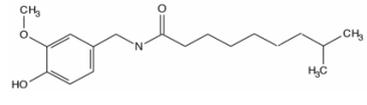
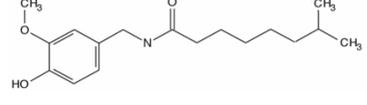
La calidad organoléptica del pimiento dependerá principalmente de la pungencia, sustancias volátiles y azúcares y ácidos, que tienen un papel importante en el aroma y sabor del fruto cuando sea consumido (Llácer, 2006). En general, los atributos del pimiento que aumentan su calidad organoléptica son la pungencia, el color, el sabor y aroma (Eggink et al., 2012).

##### 4.1.1.1 Pungencia

La pungencia, acritud o picor es la sensación de ardor agudo producido por productos hortícolas. Algunos ejemplos son la cebolla y el pimiento. Esta sensación es captada por el sentido del gusto cuando el producto es consumido y algunas sustancias reaccionan con la saliva (Raigón, 2006). Esta sensación es producida por la acumulación de grupos alcaloides de unas sustancias llamadas capsaicinoides (Naves et al., 2019), que son metabolitos secundarios de la familia de los vanilloides que aparecen en el género *Capsicum* (Aza-González et al., 2011). Son producidas mediante una serie de reacciones cuyo procedimiento ha sido muy estudiado pero aún no se conoce en su totalidad (Mazourek et al., 2009) y destacan por su aplicación farmacológica, neurológica y dietética, y alta actividad biológica (Korkutata & Kavaz, 2015).

Existen más de 10 capsainoides con estructuras diferentes (Mazourek et al., 2009), sin embargo los más importantes son la capsaicina y la dihidrocapsaicina y en menor proporción la nordihidrocapsaicina (Tabla 2). La suma de los tres componen el 90% de los capsainoides totales del pimiento (Kozukue et al., 2005; Tundis et al., 2013; Wahyuni et al., 2011) y la capsaicina en solitario representa el 70% de los mismos (Korkutata & Kavaz, 2015). Uno de los métodos más utilizados para conseguir determinar la pungencia en el pimiento es la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), ya que permite no solo identificar el tipo de capsainoide que se encuentra en el pimiento, si no cuantificar dicha concentración (Choi et al., 2006; Kozukue et al., 2005; Wahyuni et al., 2011).

Tabla 2. Capsaicinoides del pimiento (Korkutata & Kavaz, 2015; Llácer, 2006).

Capsaicinoide	Estructura molecular	Contenido (mg/kg)
Capsaicina		41-75
Dihidrocapsaicina		25,5-35-5
Nordihidrocapsaicina		1,6-12,2

La acumulación de los capsaicinoides es muy variable durante el desarrollo del fruto, ya que se ve influenciada por diferentes parámetros y el resultado de la cantidad de capsaicinoides y como consecuencia la pungencia del fruto vendrá determinada por un balance de estos parámetros que afectan a la síntesis y degradación de dichos compuestos. Algunos de estos factores son la luz, la temperatura, el agua y los minerales, como el sodio y el potasio. La temperatura e irradiación funcionan como reguladora en la expresión de ciertos factores de transcripción, así como en la actividad enzimática. Los niveles de Sodio y Potasio son imprescindibles para el correcto desarrollo del fruto, así como un mayor contenido en precursores de capsaicinoides. El grado de humedad actúa como un criterio de selección y el estrés hídrico provoca tiene consecuencias en la cantidad de enzimas precursoras de capsaicinoides y metabolitos secundarios (Naves et al., 2019). Otro parámetro muy importante es el estado de maduración del fruto, ya que ha sido demostrado por varios estudios que la cantidad de capsaicinoides varía de un fruto inmaduro a un fruto maduro. En estos estudios se ha observado el aumento de capsaicinoides, sobre todo de los mayoritarios en el pimiento como son la capsaicina y la dihidrocapsaicina, cuando el pimiento alcanza la madurez (Tundis et al., 2013).

Además de la contribución de estos compuestos a la pungencia, sabor, aroma del pimiento, la importancia de estas sustancias reside en sus efectos beneficiosos en la salud. Algunos de estos beneficios son sus propiedades antimutagénicas, antitumorales y antioxidantes, propiedades demostradas en capsaicina y dihidrocapsaicina. La capacidad antioxidante ha sido demostrada en varios estudios, donde un aumento de estos compuestos bioactivos está altamente relacionado con un aumento de la actividad antioxidante del fruto que los contiene (Bae et al., 2012), además, esta capacidad antioxidante se ha demostrado tanto en pimientos en fresco como en pimientos procesados y además de tener beneficios en la salud de los consumidores, pueden ayudar a la conservación del propio fruto (Alvarez-Parrilla et al., 2012). En particular, la capsaicina es efectiva en el tratamiento de afecciones dolorosas, como enfermedades reumáticas, dolores de cabeza y neuropatía diabética, y también es utilizada como antibacteriano (Korkutata & Kavaz, 2015).

El contenido de los capsaicinoides más importantes se pueden observar en la Tabla 2, son datos medidos en fresco y queda demostrada la predominancia de la capsaicina en la cantidad de capsaicinoides totales, seguida por la dihidrocapsaicina. Se pueden observar diferencias en el contenido de capsaicinoides debido al tratamiento de la muestra, si es en seco, en fresco o semilla. (Korkutata & Kavaz, 2015).

Han sido identificados algunos genes involucrados en la biosíntesis de capsaicinoides en *Capsicum ftutescens* como *FPKM* y *DAF* y algunos genes candidatos como *TD* y *DHAD*, que son genes que participan también en la biosíntesis de valina, isoleucina y leucina, y *PAT* que es una transaminasa (Liu et al., 2013).

#### 4.1.1.2 Compuestos volátiles

Las sustancias volátiles son las responsables del aroma del fruto, criterio importante para el consumidor para la aceptación de un fruto, aunque destacan más otros criterios como la apariencia externa o el sabor. El género *Capsicum* tiene una gran riqueza y diversidad en estos compuestos (Llácer, 2006; Rodríguez-Burruezo et al., 2010). Han podido ser descritos más de 300 compuestos volátiles en el pimiento, y en cada nuevo estudio son encontrados nuevos compuestos. Entre estos compuestos fundamentalmente se encuentran ésteres y terpenoides que son los mayoritarios, además de otros compuestos como compuestos nitrogenados y sulfurosos, compuestos fenólicos, norcarotenoides, alcoholes, furanos, cetonas, compuestos aromáticos y hidrocarburos alifáticos. La importancia de los compuestos volátiles no es solo conocer su existencia dentro del pimiento, sino que también ayuda a conocer la autenticidad de la especie o variedad, mejorar su calidad, prevenir cualquier tipo de fraude o engaño sobre su origen o especie y relacionar cada compuesto volátil con el aroma al que afecta. Este es el objetivo que se ha perseguido en los programas de mejora, la predicción de ciertos atributos conociendo su composición para mejorar aquellos atributos relacionados con los atributos que se desean mejorar, sin embargo, es una tarea difícil. Un ejemplo, son los ésteres, que han sido relacionados con la calidad e intensidad del olor desprendido del fruto. Estos estudios han demostrado como el pimiento tiene una menor complejidad en este sentido, ya que tiene una menor cantidad de compuestos volátiles que contribuyen a diferencias aromáticas del fruto. Las mediciones de los compuestos volátiles se pueden realizar mediante diferentes técnicas como son la cromatografía de gases (GC) o la microextracción en fase sólida del espacio superior (Bogusz Junior et al., 2012; Eggink et al., 2012; Rodríguez-Burruezo et al., 2010). Los compuestos volátiles más importantes del pimiento son ésteres entre los que destacan los ésteres saturados como 4-metilpentil-3-metilbutanoato con valores entre  $4,1 - 1.062 \cdot 10^8$  áreas de pico o 4-metilpentil-2-metilbutanoato con valores entre  $15,4 - 365,7 \cdot 10^8$  áreas de pico, los cuales están relacionados con aromas afrutados y los serquiterpenos  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$ -himachalenes que son característicos de las variedades picantes, cuyos valores son  $0,4 - 195$ ,  $0,2 - 113$  y  $0,5-900 \cdot 10^8$  áreas de pico respectivamente (Rodríguez-Burruezo et al., 2010).

#### 4.1.1.3 Azúcares y ácidos

Los azúcares son compuestos que se encuentran en la composición de cualquier alimento, en el caso del pimiento, los más abundantes son la glucosa y fructosa, que alcanzan valores de hasta un 98% de los azúcares totales del pimiento. El contenido de azúcares ha sido medido mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas en peso fresco en la especie *C. annuum* y en diferentes variedades. Los datos de glucosa fueron 1,79-3,81 g/100 g y de fructosa 1,89-3,74 g/100 g, sin embargo, no hubo detección de sacarosa en las muestras. Estas variaciones son debido a las diferencias de composición que existen entre las diferentes variedades utilizadas en el estudio que fueron Blocky, Mini block, Dulce italiano, Dolma, Kapya, Conical, Lamuyo o Elongado (Eggink et al., 2012). Se han observado valores mucho mayores de glucosa (5,38 – 6,85 g/100g) y fructosa (9,55 – 12,13 g/100g) en algunas variedades coreanas (Ku, 2001). Hay variedades de carácter dulce y otras que tienen ausencia de dulzor (López-Hernández et al., 1996).

En cuanto a los ácidos, destacan el ácido ascórbico, ácido cítrico y ácido málico. El contenido de estos ácidos en materia seca es 137,9-247,1 g/100 g, 185,7-609,7 g/100 g y 11,71-159,27 g/100 g

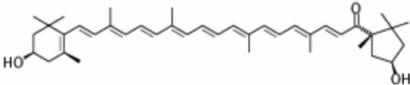
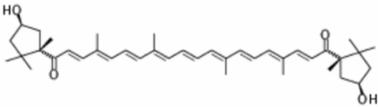
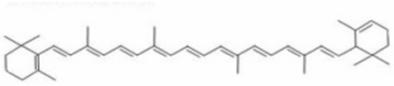
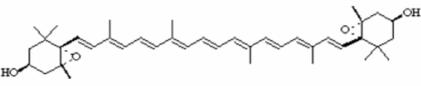
respectivamente. El ácido más predominante en el pimiento es el ácido cítrico seguido del ácido ascórbico y por último el ácido málico. Estos datos fueron obtenidos de un estudio realizado por Eggink y colaboradores donde se compararon valores de diferentes ácido de diferentes variedades (Blocky, Mini block, Dulce italiano, Dolma, Kapyra, Conical, Lamuyo o Elongado) de la especie *C. annuum* (Eggink et al., 2012; López-Hernández et al., 1996).

#### 4.1.2 Poder colorante

El pimiento tiene como característica principal su composición y gran variedad de carotenoides, que como hemos explicado antes son sustancias pigmentarias que proporcionan color. Esta pigmentación es producida por partes de estas sustancias, caracterizadas por unas sucesiones de dobles enlaces intercalados con enlaces simples. Este atributo permite al pimiento ser utilizado como colorante alimentario, por ello has sido usado durante siglos en diferentes culturas culinarias por todo el mundo, y además tienen propiedades beneficiosas para la salud humana, como enfermedades crónicas (Llácer, 2006) Algunas de estas propiedades es su capacidad antioxidante demostrada en varios estudios, donde existen una correlación entre la cantidad de carotenoides presentes en el fruto y la actividad antioxidante (Bae et al., 2012; Guil-Guerrero et al., 2006; Menichini et al., 2009; Stahl & Sies, 2003). Los carotenoides más abundantes (Tabla 3) en el pimiento son el  $\beta$ -caroteno, capsantina, capsorubina y algunas xantofilas como la violaxantina (da Silveira Agostini-Costa et al., 2017). En primer lugar se encuentra en la capsantina, la cual en el pimiento rojo (*C. annuum*, *C. baccatum* y *C. chinense*) puede alcanzar valores desde 230 a 848  $\mu\text{g/g}$  (Pugliese et al., 2013)

Para medir el poder colorante de un producto como el pimiento, lo primero que se realiza es cuantificar la concentración de las sustancias pigmentarias que contiene mediante HPLC, que permite conocer dichas concentraciones diferenciando los diferentes tipos de carotenoides. Después se realiza una medición de la absorbancia a unas longitudes de onda variables dependiendo de los diferentes pigmentos anteriormente extraídos (Englewood Cliffs, 1986).

Tabla 3. Carotenoides del pimiento (Llácer, 2006).

Carotenoide	Estructura molecular
Capsantina	
Capsorubina	
$\beta$ -caroteno	
Violaxantina	

El contenido de la composición de carotenoides en *Capsicum annuum* se muestra en la tabla 4, en la cual se muestran los carotenoides mayoritarios. Se muestran los datos recopilados en forma

de rangos provocados por la variación que existe dependiendo del estado de madurez, mostrando los datos de diferentes variedades (Red Lamuyo, Yellow Lamuyo, Green Lamuyo, Red California, Yellow California, Orange California, Green California, Red Italian, Green Italian y Green Pricking) (Baenas et al., 2019; Guil-Guerrero et al., 2006).

Tabla 4. Contenido de carotenoides (Baenas et al., 2019; Guil-Guerrero et al., 2006).

Componente	Valor ( $\mu\text{g/g}$ )
Carotenoides	50 - 10312 $\mu\text{g}$
$\beta$ -caroteno	0,2 - 134,8 $\mu\text{g}$
$\alpha$ -caroteno	0 - 39,2 $\mu\text{g}$
Violaxantina	0 - 158,8 $\mu\text{g}$
Zeaxantina	0 - 97 $\mu\text{g}$
Luteína	17,3 - 802 $\mu\text{g}$
Criptoxantina	0 - 68 $\mu\text{g}$
Capsorrubina	0 - 40 $\mu\text{g}$
Capsantina	0 - 185 $\mu\text{g}$

#### 4.1.3 Calidad nutricional

Para estudiar la calidad nutricional de un fruto, primero debemos de conocer su composición y la concentración de las sustancias que lo componen. Obviamente un fruto está compuesto muchas sustancias, pero hay algunas sustancias muy importantes que van a determinar la calidad nutricional del producto. En la tabla 4 podemos observar la información nutricional detallada del pimiento, exactamente son unos rangos de diferentes variedades de *Capsicum annuum* provocados por los diferentes estados de madurez del fruto (Baenas et al., 2019; Guil-Guerrero et al., 2006). La información más interesante que podemos obtener de estos datos es la gran cantidad de agua y baja cantidad de macronutrientes, como proteínas, lípidos y carbohidratos, característico de los frutos. Por otra parte, destaca en su riqueza vitamínica. Es importante mencionar que la composición y cada una de las concentraciones de cada compuesto puede variar dependiendo de factores genéticos, ambientales, formas de cultivo o manejos del ser humano (Johill, 2004).

En cuanto al contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, los datos son 149,29-187,51 mg/g y 20,80-102,48 mg/g respectivamente. Estos datos son obtenidos del estudio realizado por Zimmer y colaboradores en la especie *Capsicum baccatum* var. *pendulum* (silvestre) (Zimmer et al., 2012). Ha sido demostrado en numerosos estudios la relación lineal que existe entre el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante del fruto que los contiene, un ejemplo es el estudio realizado por Zimmer y colaboradores donde se observó mediante un ensayo DPPH y calculando  $EC_{50}$  con valores entre 66,21-819,67  $\mu\text{g/ml}$  y AEAC (capacidad antioxidante equivalente al ácido ascórbico) con valores desde 0,071 a 0,006  $\mu\text{g/g}$  (Zimmer et al., 2012). En el estudio de Zhuang y colaboradores, estudio realizado en variedades de las especies *C. annuum* y *C. frutescens*, los datos obtenidos de  $EC_{50}$  fueron de 65,91 a 125,08  $\mu\text{g/ml}$  en la variedad pimiento rojo dulce (Zhuang et al., 2012).

Tabla 5. Información nutricional del pimiento (100 g) (Baenas et al., 2019; Guil-Guerrero et al., 2006).

<b>Componente</b>	<b>Valor (g/100g)</b>
Agua	89,4 - 94,7 g
Proteína	0,63 - 1,20 g
Lípidos	0,19 - 0,95 g
Fibras	1,04 - 2,05 g
Carbohidratos	1,34 - 4,82 g
Energía	10,3 - 27,6 kcal
Energía	47,5 - 115,8 kJ
Calcio (Ca)	8,8 - 13,9 mg
Magnesio (Mg)	11,2 - 18,8 mg
Sodio (Na)	4 - 6,8 mg
Potasio (K)	159 - 244 mg
Fósforos (P)	17,4 - 37,6 mg
Sulfuros (S)	4,6 - 12,2 mg
Manganeso (Mn)	54 - 206 mg
Hierro (Fe)	313 - 975 mg
Cobre (Cu)	15 - 303 mg
Zinc (Zn)	270 - 775 mg
Selenio (Se)	0,43 - 1,25 mg
Ácidos grasos	1,75 - 4,26 g
Ácido oxálico	20,7 - 48,2 mg
Nitratos	345 - 1.124 mg
Ácido ascórbico (vitamina C)	102 - 380 mg
Vitamina A	0,01 - 0,16 mg
Vitamina E	0,7 - 1,6 mg
Vitamina K	0,005 - 0,014 mg

#### 4.1.4 Calidad externa

La calidad externa del pimiento depende de aquellos atributos que pueden ser percibidos por el sentido de la vista como puede ser el tamaño, textura, forma, color o brillo. Para conseguir una gran calidad externa el contenido en carotenoides y clorofilas es importantísimos, ya que aportan el color al fruto. Ha sido demostrado en algunos estudios realizados en *C. annuum*, que a los 130 días tras la siembra, el pimiento tiene su mayor contenido en estos compuestos y que tras estos días, se produce una degradación debido a la oxidación de los mismos, por ello la recogida se debe hacer de manera temprana (Corrêa et al., 2018). Es el aspecto más importante para el consumidor, ya que es el primero que se percibe con la vista cuando se va a comprar el producto. En un estudio realizado por Vallespir y colaboradores, se observaron las preferencias del consumidor, y fueron los pimientos de tamaño corto de la variedad California (*C. annuum*). Dependiendo del país las preferencias del color eran variables, ya que en Alemania y Dinamarca optaban por el verde, en Italia por el amarillo y en Francia y Suecia por el color rojo (Vallespir, 2010).

#### 4.2 Mejora genética

El género *Capsicum* tiene una riqueza genética que reside en la variabilidad y diversidad de las especies domesticadas. El objetivo es encontrar variedades que cumplan las expectativas de calidad del consumidor y contenga los genes de resistencia a enfermedades convenientes para el agricultor. Se han desarrollado diferentes marcadores moleculares para aquellas cualidades

importantes en el pimiento como la pungencia o resistencia a algunos virus como el virus del mosaico de tabaco. La hibridación ha sido una práctica muy común en los programas de mejora, sin embargo la incompatibilidad unilateral entre algunas especies ha sido un problema en muchos casos (Pickersgill, 1997). En este trabajo se ha realizado una revisión de diferentes artículos para observar los parámetros que son importantes a la hora de seleccionar una especie, una variedad y conocer que factores ambientales pueden afectar al contenido de sus frutos. Para realizar una mejora genética de un producto precisa y correcta es importante realizar una correlación de los componentes bioquímicos de un producto con los atributos sensoriales a los que afectan, es decir, relacionar un sabor concreto con los compuestos que se encargan de producir dicho sabor (Eggink et al., 2012). Es importante saber que cuando comparamos datos de diferentes artículos, es imprescindible conocer la forma de obtención de los valores, ya que varía mucho el resultado final del contenido de compuestos del fruto dependiendo de este factor, además de como se realiza la medición de dicho compuesto (Bae et al., 2012).

#### 4.2.1 Variabilidad genética

##### 4.2.1.1 Azúcares y ácidos

El contenido de azúcares y ácidos es muy importante en cualquier hortaliza para medir su calidad organoléptica. En la especie *C. annuum* se han observado valores de glucosa comprendidos entre 20 y 35 mg/g y valores de fructosa comprendidos entre 19 y 38 mg/g en estado maduro y en diferentes variedades como Lamuyo, Dulce italiano, Blocky, Mini blocky, Dolma, Conical o Kapya (Eggink et al., 2012). Estos datos son parecidos a los obtenidos por Guil-Guerrero y colaboradores en los que se obtuvieron valores de carbohidratos totales comprendidos entre 13 y 48 mg/g en las variedades Lamuyo, California y pimiento italiano de la especie *C. annuum* (Guil-Guerrero et al., 2006) o los encontrados en otras variedades coreanas de *C. annuum* se han encontrado valores superiores de glucosa (53,8 – 68,5 mg/g) y fructosa (95,5 – 121,3 mg/g). Otra variedad cuyos valores estuvieron dentro de la media fue la variedad española Paprika (*C. annuum*) cuyos valores de glucosa y fructosa fueron 9,7 y 36,1 mg/g respectivamente (Ku, 2001). En cuanto a los ácidos, en la especie *C. annuum* se han observado valores de ácido málico comprendidos entre 0,11 y 1,59 mg/g y valores de ácido cítrico comprendidos entre 1,85 y 4,5 mg/g en estado maduro y en diferentes variedades como Lamuyo, Dulce italiano, Blocky, Mini blocky, Dolma, Conical o Kapya (Eggink et al., 2012). Otro ácido importante en el pimiento es el ácido oxálico, del cual se han observado valores comprendidos entre 0,2 y 0,5 mg/g de las variedades Lamuyo, California y pimiento italiano de la especie *C. annuum* (Guil-Guerrero et al., 2006).

La composición en azúcares y ácidos no parece ser muy variable entre las distintas variedades de *C. annuum*, ya que son sustancias muy comunes y básicas en muchos alimentos. Sin embargo, se observaron valores muy altos en las variedades coreanas de *C. annuum*. Fue común en todas ellas la ausencia de sacarosa en su composición.

##### 4.2.1.2 Vitamina C

La vitamina C es un componente importantísimo en la composición del pimiento, su contenido es mucho más alto que el de otras hortalizas como el tomate (Wahyuni et al., 2011). El contenido de este compuesto puede variar mucho dependiendo de la especie de *Capsicum* y la variedad dentro de estas especies. Esta variedad en el contenido de vitamina C puede ser observado en un estudio realizado por Rego y colaboradores donde se compararon 69 muestras de diferentes especies y variedades de *Capsicum* (*C. annuum*, *C. chinense*, *C. baccatum* y *C. frutescens*) y los valores obtenidos fueron entre 16,08 y 191,4 mg/g (Rêgo et al., 2011). En la especie *C. annuum* se observaron los valores más altos en las variedades mexicanas, estudiadas por Alvarez-Parrilla

y colaboradores, como el Jalapeño con valores peso seco entre 21,53 y 11,85 mg/g, seguida de la variedad Serrano con 13,85 mg/g (Alvarez-Parrilla et al., 2011, 2012). Estos valores fueron mucho más altos que los obtenidos en otros estudios como el realizado por Zhuang y colaboradores donde se obtuvieron los valores de ácido ascórbico de diferentes variedades chinas de *C. annuum*, los resultados fueron 0,93-3,93 mg/g en peso fresco, cuya variedad con mayor valor fue pimiento de punta larga (Zhuang et al., 2012), el realizado por Mennella en variedades italianas de pimiento dulce de la especie *C. annuum* donde se observó una cantidad de ácido ascórbico entre los valores 1,06-2,75 mg/g en peso fresco, cuya variedad con mayor valor fue Corno di capra di Teggiano (Mennella et al., 2018), el estudio de Ghasemnezhad y colaboradores donde también se realizó una comparación de diferentes variedades de *C. annuum* en cuanto al ácido ascórbico y los resultados fueron de 0,4-1,3 mg/g de peso fresco (Ghasemnezhad et al., 2011) o el estudio realizado por Ribes-Moya, donde se encontraron valores entre 0,44 y 1,42 mg/g (Ribes-Moya et al., 2018). Además, dentro de las variedades de la especie *C. annuum*, se observó en el estudio de Howard y colaboradores un aumento del 95% de aquellas variedades que tenían un fruto maduro rojo comparándolas con las variedades que tenían un fruto maduro de coloración verde. Por otra parte, en los datos de otras especies como es *C. frutescens*, se han observados cantidades de ácido ascórbico mucho mayores, un ejemplo es la variedad Malagueta (*C. frutescens*), con un valor de 191,4 mg/g (Rêgo et al., 2011), sin embargo, otras variedades como Fructus Capsici (*C. frutescens*) con 3,35 mg/g tiene valores más parecidos a los observados en *C. annuum* (Zhuang et al., 2012) o BOL-144 con valores de 0,26-1,23 mg/g (Ribes-Moya et al., 2018). En el resto de las especies *C. chinense* han sido observados valores entre 0,24 y 1,19 mg/g cuyo valor máximo es de la variedad PI-152225 (*C. chinense*) o en la especie *C. baccatum* valores entre 0,28 y 0,94 mg/g cuyo valor máximo es la variedad BOL-58 (Ribes-Moya et al., 2018). Estos bajos contenidos en vitamina C en *C. baccatum* y *C. frutescens* se han observado en el estudio de Wahyuni y colaboradores con valores inferiores a 0,5 mg/g (Wahyuni et al., 2011)

En general podemos observar que la especie con mayor contenido medio de vitamina C podría ser *C. annuum*, señalando las variedades mexicanas como el Jalapeño o Serrano como las más ricas en este compuesto, y las especies más pobres *C. baccatum*, *C. frutescens* y *C. chinense*. Sin embargo, no hay evidencias y diferencias significativas sobre ello. Las diferencias más significativas se han producido en el estudio realizado por Rego y colaboradores, donde los valores de ácido ascórbico han sido mucho mayores que cualquier trabajo revisado. En este estudio se habían obtenido los valores de las especies *C. annuum*, *C. chinense*, *C. baccatum* y *C. frutescens*, por ello hace pensar que son el tipo de variedades escogidas lo que han dado como resultado esos datos tan superiores al resto.

#### 4.2.1.3 Carotenoides

El contenido en carotenoides varía dependiendo de las distintas variedades de pimiento. Existe una gran diferencia en aquellas especies que tienen una coloración roja del fruto es su madurez y aquellas que no. En aquellas que tienen una coloración roja se puede observar un aumento del contenido total de carotenoides, con un contenido de 1.043 µg/g, sobre todo por el aumento de capsantina. Sin embargo, este incremento no es similar en aquellas especies donde el fruto maduro no es rojo, las cuales tienen un contenido en su estado maduro menor a 200 µg/g (Ha et al., 2007). Estos resultados han sido apoyados por el estudio realizado por Howard y colaboradores realizado entre diferentes variedades de la especie *C. annuum* se encontró un aumento del 344% y 225% de  $\alpha$ -caroteno y  $\beta$ -caroteno respectivamente de aquellas variedades que tenían un fruto maduro rojo comparándolas con las variedades que tenían un fruto maduro de coloración verde (Howard et al., 1994). En el estudio de Zhuang y colaboradores se realizó un estudio entre diferentes variedades de *C. annuum* y una variedad de *C. frutescens* en el cual se

observó la variación en contenido de carotenoides entre las diferentes variedades. Los valores obtenidos fueron 5,32-1.414,78  $\mu\text{g/g}$  en peso fresco. Como los resultados obtenidos en el estudio de Howard y colaboradores, se observó un incremento significativo en aquellos pimientos de coloración roja (114–1345  $\mu\text{g/g}$ ), frente a los pimientos de coloración verde (57-432  $\mu\text{g/g}$ ) (Zhuang et al., 2012). El gen *Ccs* ha sido identificado como el máximo responsable del contenido de carotenoides en el pimiento, aunque además los genes *Psy*, *Pds*, and *Bch* son necesarios en la madurez para alcanzar un alto nivel de contenido de carotenoides en aquellas variedades donde el fruto maduro sea rojo. Existen otros genes menos importantes pero necesarios como  $\beta$ -*Lcy* y *Vde*. El gen *Ccs* es expresado en el fruto maduro y está asociado al color rojo, sin embargo, han sido encontrados diferentes promotores en algunas variedades de fruto amarillo, pero nunca ha sido expresado, quizás debido a una mutación. Además, el gen *Psy* ha sido identificado como el culpable de coloración naranja de *Capsicum chinense*. (Ha et al., 2007; Huh et al., 2001). Este argumento ha sido reforzado por un estudio en el cual fue observada la ausencia de capsantina en las variedades comerciales Habanero Golden y Scotch Bonnet, pertenecientes a la especie *Capsicum chinense* (Giuffrida et al., 2013). En otros estudios realizados por Bea y colaboradores se ha realizado el análisis del contenido de carotenoides de diferentes variedades dentro de la especie *C. annuum*. Las variedades que se estudiaron fueron las variedades mexicanas cayennes (*C. annuum* cv. 'CA408' and 'Mesilla'), jalapeño (*C. annuum* cv. 'Ixtapa') y serrano (*C. annuum* cv. 'Tuxtlas') y se pudo demostrar como el contenido total de carotenoides 448, 31, 470 y 722  $\mu\text{g/g}$ , medido por la suma de los dos carotenoides más importantes y mayoritarios en pimiento que son la capsantina y el  $\beta$ -caroteno, fue similar al observado en el estudio de Ha y colaboradores, donde los valores de carotenoides totales se encontraban entre 50 y 1.000  $\mu\text{g/g}$  dependiendo de la coloración del fruto en su madurez (Bae et al., 2012) y también en el estudio realizado por Mennella en variedades italianas de pimiento dulce de la especie *C. annuum* donde se observó una cantidad de carotenoides ( $\beta$ -caroteno y violaxantina) entre los valores 4-230 y 1-7  $\mu\text{g/g}$  en peso fresco respectivamente (Mennella et al., 2018). En otros estudios como el realizado por Pugliese y colaboradores se estudio el contenido de carotenoides de diferentes especies y variedades italianas como Cayenna (*C. annuum*), Campana (*C. baccatum*), Chaco (*C. chacoense*), Aji Angelo (*C. baccatum*), Taballo (*C. annuum*), Hierro (*C. annuum*) y Capezzolo di Scimmia (*C. chinense*), para observar la diferencia en el contenido de carotenoides dependiendo de la especie y la variedad. Se observó como uno de los carotenoides más predominantes en fresco de todas las variedades era la capsantina con valores de 8,16 y 7,48  $\mu\text{g/g}$  en las variedades Aji Angelo (*C. baccatum*) y Hierro (*C. annuum*) respectivamente, a excepción de la variedad Cayenna (*C. annuum*) en la que se encontró ausencia de capsantina. En cuanto al  $\beta$ -caroteno, otro carotenoide muy predominante, la variedad más rica fue de nuevo Hierro (*C. annuum*) con un valor de 15,24  $\mu\text{g/g}$ , debido a su potente coloración roja (Pugliese et al., 2013).

Existe un amplio rango de contenido de carotenoides en las diferentes especies y variedades de *Capsicum*, sin embargo, tras la revisión realizada de diferentes estudios, se ha podido concluir que el mayor contenido en carotenoides está ligado a aquellas variedades que tienen frutos de coloración roja en su madurez, debido a una mayor cantidad de algunos carotenoides muy importantes como la capsantina. Aunque no se conocen todos los genes involucrados en el color del fruto de *Capsicum*, los genes *y*, *c1* y *c2* relacionados con el color del fruto podrían afectar la expresión de *Css*, gen relacionado con el contenido de carotenoides (Wahyuni et al., 2011). No se ha podido observar diferencias significativas entre diferentes especies para poder asegurar que alguna especie es más rica en este compuesto (Pugliese et al., 2013) y se puede concluir que el nivel de carotenoides en el fruto es independiente del tipo de especie (Wahyuni et al., 2011).

#### 4.2.1.4 Polifenoles

En cuanto al contenido total de compuestos fenólicos, han sido observados en las variedades cayennes (*C. annuum* cv. 'CA408' and 'Mesilla'), jalapeño (*C. annuum* cv. 'Ixtapa') y serrano (*C. annuum* cv. 'Tuxtlas') valores de 65, 51, 36 y 69 mg/g respectivamente (Bae et al., 2012). Estos valores han sido los valores más altos encontrados en la bibliografía estudiada, ya que en otros estudios como el estudio de Alvarez-Parrilla y colaboradores donde se cuantificó la cantidad de compuestos fenólicos presentes en varias variedades mexicanas como son Jalapeño (*C. annuum*) y Serrano (*C. annuum*) se observaron valores en fresco de entre 7,45 y 10,28 mg/g en las variedades de Jalapeño y 10,32 mg/g en la variedad de Serrano (Alvarez-Parrilla et al., 2011, 2012). O en el estudio de Zhuang y colaboradores donde se realizó una comparación entre diferentes variedades de *C. annuum* y una variedad de *C. frutescens* en el cual se observó la variación en contenido de compuestos fenólicos entre las diferentes variedades. Los valores obtenidos fueron 1-5 µg/g en peso fresco (Zhuang et al., 2012). En la especie *C. baccatum* se observaron valores entre 0,05 – 0,08 mg/g muy inferiores a los observados en *C. annuum* (> 0,5 mg/g) (Loizzo et al., 2015)

En cuanto al contenido en flavonoides, Alvarez-Parrilla y colaboradores encontraron en las variedades mexicanas una cantidad de 2,01 a 3,32 mg/g en Jalapeño (*C. annuum*) y 4,41 mg/g en Serrano (*C. annuum*) (Alvarez-Parrilla et al., 2011), datos muy superiores a los datos de las especies *C. annuum*, *C. baccatum* y *C. chinense* donde se observó una cantidad de flavonoides entre los valores 0,01 – 0,12 mg/g en peso fresco respectivamente (Loizzo et al., 2015). Por otra parte, han sido contrastados los valores de quercetina de distintas variedades. Los estudios realizados por Ghasemnezhad y colaboradores se observaron cambios en el contenido de flavonoides, como la quercetina de las diferentes variedades de *C. annuum*. Estas variedades fueron Arian, Marona, Zorro, Y-43-09 y y-43-07, y la variedad Zorro fue la que mayor contenido en quercetina presentó, con un valor de 117,58 µg/g. El resto de variedades tuvieron una composición en estos dos flavonoides muy parecida con valores de quercetina entrono a 40 µg/g (Ghasemnezhad et al., 2011). Estos datos pueden ser comparados por el estudio realizado por Bae y colaboradores se ha realizado el análisis del contenido de quercetina de diferentes variedades dentro de la especie *C. annuum* y se pudieron observar valores entre 4 y 57 µg/g (Bae et al., 2012). Estos valores son parecidos a la media obtenida en los estudios de Ghasemnezhad y colaboradores (40 µg/g) y a los obtenidos por Mennella y colaboradores en variedades de pimiento dulce italiano (*C. annuum*), con valores entre 8 y 26 µg/g (Mennella et al., 2018). La variedad Zorro (*C. annuum*), sigue siendo la variedad más rica en quercetina comparándola con el resto de las variedades estudiadas en la bibliografía con una diferencia sorprendente.

Aunque el contenido de fenoles y flavonoides en el pimiento depende de la variedad y especie de pimiento, como ha sido observado en la variedad Zorro (*C. annuum*) con valores sorprendentemente altos, la pérdida de los mismo debido a la madurez se produce por igual en todas las variedades, por ello, es independiente de la variedad (Tundis et al., 2013).

#### 4.2.1.5 Capsaicinoides

En los estudios realizados por Rodríguez-Burruezo y colaboradores se ha demostrado como la cantidad de capsaicinoides es mayor en las especies *Capsicum chinense* y *C. frutescens*, con contenidos de 1.641 µg/g y hasta 3.233 µg/g en la variedad del tabasco, respectivamente, comparándolo con *C. annuum* con un contenido máximo de 540 µg/g en la variedad Serrano, confirmando así la pungencia natural de especies como *C. chinense* y *C. frutescens* (Rodríguez-Burruezo et al., 2010). Además, se han hecho algunos estudios del contenido en capsaicinoides dentro de la especie *C. annuum* como el realizado por Bae y colaboradores, donde se estudiaron

las variedades cayennes (*C. annuum* cv. 'CA408' and 'Mesilla'), jalapeño (*C. annuum* cv. 'Ixtapa') y serrano (*C. annuum* cv. 'Tuxtlas') y se pudo observar como la capsaicina y la dihidrocapsaicina son los compuestos mayoritarios en el pimiento de la familia de los capsaicinoides, además se observaron contenidos totales de capsaicinoides de 83, 549, 3.512 y 52 µg/g respectivamente (Bae et al., 2012). Comparando estos datos con los obtenidos por Rodríguez-Burruezo y colaboradores y con los estudios de Zhuang y colaboradores (59 y 1.243 µg/g) (Zhuang et al., 2012) se puede observar la baja cantidad de capsaicinoides en la especie *C. annuum*, con excepción de algunas especie, en este caso el jalapeño, característico por su pungencia. Esta última afirmación, ha sido contrastada en el estudio de Alvarez-Parrilla y colaboradores donde se cuantificó la cantidad de capsaicinoides presentes en varias variedades mexicanas como son Jalapeño (*C. annuum*) y Serrano (*C. annuum*) y la proporción de cada uno de ellos en el contenido total. Se observaron valores en fresco de entre 742 y 3.197 µg/g en las variedades de Jalapeño y 3.331 µg/g en la variedad de Serrano en peso seco. Capsaicina con un 46-72% y dihidrocapsaicina con un 27-53% fueron los capsaicinoides mayoritarios de los frutos, entre los dos conteniendo mas de un 90% de los capsaicinoides totales en todas las variedades. Los valores fueron 346-2308 y 396-1.420 µg/g en las variedades de Jalapeño respectivamente y 1.606 y 1.500 µg/g en la variedad de Serrano (Alvarez-Parrilla et al., 2011, 2012). Aunque es evidente la naturaleza pungente de la especie *C. frutescens*, en algunas variedades se han encontrado rangos muy inferiores (59 y 1.243 µg/g) (Zhuang et al., 2012) que los observados en los estudios de Rodríguez-Burruezo y colaboradores (Rodríguez-Burruezo et al., 2010). Han sido comparadas diferentes variedades de diferentes especies de *Capsicum* donde se ha demostrado que había una correlación con el color del fruto maduro de cada planta (rojo, amarillo o naranja), con el nivel de pungencia de este. La conclusión del estudio fue que el color rojo coincidía con los niveles altos o muy altos de pungencia, sin embargo, no todos los pimientos rojos tienen un nivel de pungencia elevado, por ello no se puede asegurar una correlación (Rêgo et al., 2011).

La naturaleza pungente de algunas especies del género *Capsicum* provoca un mayor contenido de capsaicinoides en el fruto, sobre todo los mayoritarios como capsaicina y dihidrocapsaicina. Esto sucede con las especies *C. chinense* y *C. frutescens* cuyos valores son mucho más superiores a los encontrados en la especie *C. annuum*.

#### 4.2.1.6 Compuestos volátiles

En los estudios realizados por Rodríguez-Burruezo y colaboradores se ha demostrado como la cantidad de compuestos volátiles está relacionado con la intensidad del aroma, por ello la especie *Capsicum annuum*, a excepción de la variedad Aci Sivri con un valor de  $4.332 \cdot 10^8$  de área de pico, tiene un contenido en compuestos volátiles entre 32 y  $1.788 \cdot 10^8$  de área de pico y debido a su menor contenido en compuestos volátiles totales, tiene aromas menos intensos y pronunciados. Sin embargo, otras especies como *C. chinense* y *C. frutescens* destacan por su alto contenido en compuestos volátiles, con valores de 6.879 y alrededor de  $4.000 \cdot 10^8$  de área de pico respectivamente, y como consecuencia son característicos aromas intensos, exóticos, dulces y afrutados. Además, son interesantes los datos obtenidos en este estudio en cuanto a la proporción de los diferentes compuestos volátiles, ya que aunque lo esterés son los compuestos mayoritarios como sucede en *C. chinense* o *C. frutescens*, destaca la ausencia de estos compuestos en variedades de la especie *C. annuum* como Bierzo, Piquillo o Valenciano (Rodríguez-Burruezo et al., 2010). En la variedad dedo-de-moça de la especie *C. baccatum*, fue observada también una disminución de la proporción de esterés, con un 12%, dato muy alejado del patrón seguido por otras especies. Sin embargo, existe una mayor cantidad de terpenos en su composición, con un contenido de 34% de los compuestos volátiles totales. En la variedad murupi de la especie *C. chinense* y la variedad malagueta de la especie *C. annuum*, la composición de compuestos volátiles con un 40% de composición de ésteres sigue el mismo patrón que el

estudiado anteriormente por Rodríguez-Burruezo, donde la composición de ésteres era de un 36%. Por ello, estas especies contienen aromas con más presencia (Bogusz Junior et al., 2012).

En el estudio realizado por Burruezo y colaboradores se observó como uno de los compuestos más importantes en el pimiento en cuanto su aportación al aroma del fruto como es 3-isobutil-2-metoxipirazina, el cual está relacionado con aromas a pimentón, verde y terroso en el fruto, se encontró en altas cantidades en las especies *C. annuum* y *C. frutescens*, sin embargo, estuvo ausente en la especie *C. chinense* (Rodríguez-Burruezo et al., 2010). Estos datos pueden compararse a los obtenidos en el estudio de Kocsis y colaboradores, en el cual hubo ausencia 2-metoxi-3-(1-metilpropil)-pirazine, 2-metoxi-3-(2-metilpropil)-pirazine and (trans)-3-hexenol en Paprika (*C. annuum*), compuestos encargados del aroma verde. En este mismo estudio también se pudo observar el mayor contenido de estos compuestos volátiles en la variedad picante Kalocsa-V-2 que en la variedad dulce Kalocsa-M-622 (Kocsis et al., 2002).

Las especies *C. chinense* o *C. frutescens* se caracterizan por una mayor cantidad de compuestos volátiles, por ello tienen aromas mucho más presentes, como pueden ser afrutados, aromas exóticos o dulces. Sin embargo, la especie *C. annuum* tiene unos valores mucho más bajos de compuestos volátiles.

#### 4.2.2 Variabilidad ambiental

##### 4.2.2.1 Vitamina C

El contenido en vitamina C o ácido ascórbico en pimiento puede variar dependiendo de factores ambientales, como pueden ser las condiciones de cultivo. Entre estas condiciones es importante destacar la función del suelo, el clima, condiciones de crecimiento, prácticas de producción, madurez del fruto, condiciones de poscosecha y condiciones de almacenamiento. Esta variación de contenido de vitamina C ha sido cuantificada y puede ir desde 1,42 a 2,48 mg/g (Korkutata & Kavaz, 2015). Como se ha dicho antes, el grado de madurez del fruto es un factor que afecta al contenido de ácido ascórbico en el pimiento, en el estudio de Ghasemnezhad y colaboradores se ha observado una gran variación en el contenido de vitamina C de variedades de la especie *C. annuum* debido al estado de madurez del fruto. La mayor cantidad de ácido ascórbico fue encontrada en el estado del fruto maduro pero sin cambio de color, observando un incremento del 30% (Ghasemnezhad et al., 2011). Esta afirmación fue contrastada en el estudio realizado por Ribes-Moya y colaboradores donde se comparó el contenido de ácido ascórbico de diferentes especies y variedades, se obtuvieron unos valores entre 0,14-1,21 mg/g en peso fresco en condiciones ecológicas y 0,1-0,93 mg/g en condiciones convencionales, esto en frutos inmaduros y 0,48-2,08 mg/g y 0,48-1,96 mg/g respectivamente en frutos maduros, observando incrementos de hasta más de un 50% de ácido ascórbico debido a la madurez del fruto tanto en los frutos de condiciones tradicionales como en condiciones ecológicas. En este estudio también se observaron otros factores ambientales como es el modo de cultivo, convencional u orgánico. Se observó que dependiendo de variedades era mejor un método de cultivo u otro, además esta preferencia cambiaba dependiendo del estado de madurez del fruto. Un ejemplo, es la variedad Chimayo (*C. annuum*) que obtuvo valores más altos de ácido ascórbico en ecológico tanto en maduro (2,08 mg/g) como en inmaduro (0,76 mg/g) (Ribes-Moya et al., 2018). El procesamiento del fruto provoca grandes cambios en el contenido de ácido ascórbico de este como se demostró en un estudio de Alvarez-Parrilla y colaboradores se cuantificó la cantidad de ácido ascórbico presentes en varias variedades mexicanas como son Jalapeño (*C. annuum*) y Serrano (*C. annuum*) comparándolas con diferentes procesados como son pimiento en escabeche o enlatado. Se demostró como cualquier proceso de calor tras la recogida del fruto tiene efectos adversos en el contenido de ácido ascórbico, en este caso una disminución de este debido a una degradación

por calentamiento. Esta disminución puede llegar a ser del 80% en algunos casos (Howard et al., 1994). Un ejemplo es el observado en la variedad Serrano (*C. annuum*), en la cual se produjo una disminución de 1.385 a 584 mg/100g (Alvarez-Parrilla et al., 2011, 2012). Esta degradación térmica ha sido demostrada en otros estudios como el de Howard y colaboradores donde se observó en la variedad Jalapeño (*C. annuum*) una disminución del 75% de ácido ascórbico y un aumento del 23% de ácido deshidroascórbico (DHA), posiblemente debido a la oxidación del ácido ascórbico (Howard et al., 1994) Este resultado también ha sido observado en el estudio de Rego y colaboradores donde se observó una disminución del 30% en vitamina C debido al enlatado y el cocinado, además de alcanzar el 0% en el pimiento seco (Rêgo et al., 2011). Otro factor ambiental que afecta al contenido de vitamina C son los tiempos de cosecha del fruto, este factor ha sido estudiado en híbridos de pimiento dulce de la especie *C. annuum* por Corrêa y colaboradores, y se observó una disminución del contenido de ácido ascórbico de hasta un 50%, comparando los valores de 135 días después de la siembra con 175 días después de la siembra, en algunas variedades como Magali (*C. annuum*). Por ello, se busca una cosecha temprana en variedades como Magali para que el fruto tenga un contenido máximo de ácido ascórbico que es muy beneficioso para la salud humana debido a su acción antioxidante (Corrêa et al., 2018).

La cantidad de vitamina C es variable en el pimiento dependiendo de diferentes factores ambientales como son el grado madurez, el tipo de agricultura, los procesamientos poscosecha o los tiempos de cosecha del fruto. Se ha podido observar como la mayor cantidad de vitamina C ha sido encontrada en los frutos maduros, pero sin cambio de color. Además, llevar una agricultura ecológica con una recogida temprana produce un beneficio en la cantidad de ácido ascórbico en el fruto. Por último, los procesamientos poscosecha producen en el pimiento una degradación térmica del ácido ascórbico, produciendo una pérdida de este, por ello los frutos frescos tienen una mayor cantidad de vitamina C que los procesados.

#### 4.2.2.2 Carotenoides

Uno de los factores ambientales más importantes en el contenido de carotenoides del pimiento es el estado de madurez debido a que es una de las pocas hortalizas del mercado que puede ser consumida en su estado inmaduro o maduro. Es un factor ambiental intrínseco en cualquier fruto y dependiendo de que este en estado inmaduro o maduro tiene diferencias notables en su composición. En cuanto al contenido total de carotenoides, en la variedad *Capsicum annum* var. *lycopersiciforme rubrum* se ha observado un amplio incremento en el contenido de carotenoides medido en peso seco de 196 µg /g a 12.971,2 µg/g. Si incidimos más en estos datos, dentro de estos carotenoides destaca el aumento del contenido en capsantina y zeaxantina y la disminución del contenido en β-caroteno y luteína en la madurez del fruto. Esto es debido al cambio de color o pigmentación del fruto, que en estado maduro predominan colores verdes, amarillos o blancos y en estado maduro el fruto alcanza colores rojos, marrones u oscuros. En el pimiento inmaduro el contenido de carotenoides rojos (capsantina, criptoxantina o capsorubina) es muy bajo, al igual que le contenido de los pigmentos del cloroplasto en el fruto maduro (luteína y β-caroteno) (Deli et al., 2001; Ha et al., 2007). Esto ha sido observado en otros estudios en *C. annuum* (Cayenne Golden o Acuminatum), donde el contenido de carotenoides en estado inmaduro es de 373-560 µg /g y en estado maduro es de 1.306-4.141 µg/g (Tundis et al., 2013) y en la variedad Habanero de la especie *C. chinense* donde se observó un incremento de 627 µg/g en estado inmaduro a 3.620 µg /g en estado maduro. Estos datos tienen como consecuencia un aumento de la capacidad antioxidante, como fue observado en el estudio donde se produjo un incremento de EC<sub>50</sub> de 97 a 287 µg/ml de estado maduro a estado inmaduro respectivamente (Menichini et al., 2009).

Por otra parte, el procesamiento del fruto tiene implicaciones en el contenido de carotenoides como fue demostrado en un estudio de Pugliese y colaboradores que realizaron un estudio del contenido de carotenoides de diferentes especies y variedades italianas como Cayenna (*C. annuum*), Campana (*C. baccatum*), Chaco (*C. chacoense*), Aji Angelo (*C. baccatum*), Taballo (*C. annuum*), Hierro (*C. annuum*) y Capezzolo di Scimmia (*C. chinense*), en el cual se comparaba el contenido de los carotenoides en fresco, congelado y cocinado. Algunos carotenoides como la capsantina y la violaxantina no fueron afectados por el procesado del congelado o cocinado, sin embargo, otros como la  $\beta$ -criptoxantina o el  $\beta$ -caroteno vieron afectados su contenido de carotenoides. Lo más común fue observar un decrecimiento del contenido de los diferentes compuestos al ser procesados. Los datos más interesantes del estudio fueron el incremento de la cantidad de capsantina de las variedades Chaco (*C. chacoense*) y Hierro (*C. annuum*) de 5,92 a 8,13 y de 7,86 a 10,16  $\mu\text{g/g}$  respectivamente tras ser cocinadas (Pugliese et al., 2013). Otro factor ambiental que afecta al contenido de carotenoides es el tiempo de cosecha del fruto, este factor ha sido estudiado en híbridos de pimiento dulce de la especie *C. annuum* por Corrêa y colaboradores, y se observó una disminución del contenido de carotenoides comparando 130 días después de la siembra con 145 después de la siembra de hasta un 95% en variedades como Lucigno (*C. annuum*) quizás debido a la oxidación. Por ello, se busca una cosecha temprana en variedades como Lucigno para que el fruto tenga un contenido máximo de carotenoides que es muy beneficioso para la salud humana ya que son los precursores de la vitamina A (Corrêa et al., 2018). Desde no hace muchos años, se ha introducido en el mercado el llamado fruto ecológico. El cultivo ecológico presenta diferencias en la manera de cultivar el fruto, así como variaciones en las condiciones ambientales, por ello es un factor que puede variar el contenido y la composición de este. En el estudio realizado por Ribes-Moya y colaboradores donde se comparó el contenido de carotenoides de diferentes especies y variedades, se obtuvieron unos valores entre 0-2.570  $\mu\text{g/g}$  en peso fresco en condiciones ecológicas y 0-3.240  $\mu\text{g/g}$  en condiciones convencionales, esto en carotenoides rojos y 20-1.460 y 10-1.650  $\mu\text{g/g}$  respectivamente en carotenoides naranjas y amarillos. En cuanto al modo de cultivo se pudo observar una mayor cantidad de carotenoides tanto rojos como amarillos y naranjas en los cultivos convencionales, pero sin una diferencia significativa (Ribes-Moya et al., 2018).

Se puede concluir que el grado de madurez es el factor más determinante en el contenido de carotenoides del fruto en cualquier variedad y especie, esto se intensifica cuando la coloración del fruto maduro es roja debido a carotenoides como la capsantina, una de los mayoritarios en el pimiento. El procesamiento del fruto provocó que algunos carotenoides fueran afectados disminuyendo su contenido, así como con la recogida del fruto tardía, por ello es conveniente una recogida de fruto temprana. Sorprendentemente, las condiciones ecológicas no beneficiaron el contenido de carotenoides en el fruto.

#### 4.2.2.3 Polifenoles

El contenido de polifenoles en el pimiento es dependiente del estado de madurez, en el estudio de Ghasemnezhad y colaboradores se demostró un aumento del contenido de fenoles y flavonoides en varias variedades de la especie *C. annuum* en el estado del fruto anterior al cambio de color, en comparación con el fruto maduro (Ghasemnezhad et al., 2011), datos que pueden ser contrastados con los obtenidos en el estudio de Tundis, el cual se demostró también en *C. annuum*, la mayor cantidad de fenoles y flavonoides en el estado inmaduro de fruto (Tundis et al., 2013) y con los datos obtenidos en la variedad Habanero de *C. chinense* donde se observó primero una disminución de contenido total en polifenoles de 7.820 a 7.590  $\mu\text{g/g}$  y segundo una disminución del contenido en flavonoides de 1.380 a 450  $\mu\text{g/g}$  de estado inmaduro a estado maduro respectivamente (Menichini et al., 2009). Otro factor importante es el procesamiento del fruto para un posterior consumo, y como fue observado en un estudio de Alvarez-Parrilla y

colaboradores donde se cuantificó la cantidad de compuestos fenólicos presentes en variedades mexicanas como son Jalapeño (*C. annuum*) y Serrano (*C. annuum*) comparando los valores dependiendo del procesado que había recibido cada muestra, se produjo la disminución de la cantidad de compuestos fenólicos. Un ejemplo fue la disminución producida en Serrano, que en disminuyendo su contenido a la mitad, de 10.320 a 5680  $\mu\text{g/g}$ , además de la disminución en contenido en flavonoides de 4.410 a 3.070  $\mu\text{g/g}$ . Como conclusión se demostró que se produce una pérdida de contenido de compuestos fenólicos en el enlatado y decapado del pimiento (Alvarez-Parrilla et al., 2011, 2012). Otros procesos que producen una pérdida de compuestos fenólicos son el hervido y el congelado, que en ocasiones pueden alcanzar una pérdida de más del 60% como en la variedad Hierro (*C. annuum*). Esta pérdida de compuestos fenólicos tiene como consecuencia una pérdida de la capacidad antioxidante del fruto (Loizzo et al., 2015). Por último, la importancia del tipo de agricultura también es un factor que varía el contenido de polifenoles. En el estudio realizado por Ribes-Moya y colaboradores donde se comparó el contenido de compuestos fenólicos de diferentes especies y variedades, se obtuvieron unos valores entre 68-626 mg/100g en peso fresco en condiciones ecológicas y 87-506 mg/100g en condiciones convencionales, esto en frutos inmaduros y 109-367 mg/100g y 96-438 mg/100g respectivamente en frutos maduros. Estos datos pueden ser comparados con los datos obtenidos en los estudios de Ghasemnezhad y Tundis, ya que se observa una disminución del contenido en compuestos fenólicos debido a la maduración del fruto tanto en cultivo orgánico como convencional. En cuanto al modo de cultivo, la mayoría de las variedades tuvieron mayores cantidades de compuestos fenólicos en métodos de cultivo ecológico (Ribes-Moya et al., 2018).

Se puede concluir que en el pimiento existe una mayor cantidad de polifenoles en estado inmaduro, que los procesamientos poscosecha en el fruto provocan una disminución de su contenido en polifenoles y que el cultivo ecológico presenta, en general, unos mayores valores en polifenoles que el cultivo convencional.

#### 4.2.2.4 Capsaicinoides

Existen diferencias notables en la composición del pimiento en estado inmaduro y maduro, ya que en el estado maduro destacan capsaicinoides, como capsaicina y dihidrocapsaicina. En *C. annuum* se han observado diferencias en el contenido de algunos carotenoides como la variedad Acuminatum donde se produjo un aumento de 677,7  $\mu\text{g/g}$  a 1.280,2  $\mu\text{g/g}$  de estado inmaduro a maduro. Esto mismo ocurrió en la variedad con menor cantidad de capsaicinoides, la variedad Cayenne Golden, en la cual se produjo un aumento de 208,3  $\mu\text{g/g}$  a 415,8 (Tundis et al., 2013). Este aumento de capsaicinoides ha sido observado en otras especies como en *C. chinense* en la variedad Habanero, en la que se produjo un aumento de 1.070 a 4.363 y de 357 a 2.498  $\mu\text{g/g}$  de estado inmaduro a estado maduro en capsaicina y dihidrocapsaicina respectivamente (Menichini et al., 2009). Otros factores ambientales que afectan al contenido de capsaicinoides es el manejo y el procesamiento de los frutos, como fue demostrado en un estudio realizado por Alvarez-Parrilla y colaboradores, en el cual se cuantificó la cantidad de capsaicinoides presentes en varias variedades mexicanas como son Jalapeño (*C. annuum*) y Serrano (*C. annuum*) comparando los valores del fruto en fresco con el fruto tras sufrir procesados como enlatado o escabeche. El contenido de capsaicinoides en el pimiento fresco fue mucho más alto que en los pimientos procesados, un ejemplo muy significativo es el producido en la variedad Serrano (*C. annuum*) donde se produjo una disminución de 1.606  $\mu\text{g/g}$  en fresco a 167  $\mu\text{g/g}$  en procesado. Esta pérdida de contenido en capsaicinoides es debido al tratamiento de calor producido en el procesado del pimiento. Un dato importante que se observó en este estudio fue la ausencia de norhidrocapsaicina en todos los pimientos procesados (Alvarez-Parrilla et al., 2011, 2012). Estos datos siguen la misma línea que los obtenidos en *C. frutescens* por Schweiggert y colaboradores los cuales observaron una disminución entre 21-27% del contenido en capsaicinoides debido a

procesos de blanqueo y secado (Schweiggert et al., 2006) o disminución entre 20 y 50% en procesamientos como el hervido y congelado en *C. annuum*, *C. baccatum* y *C. chinense* (Loizzo et al., 2015). Por otra parte, las condiciones ambientales son determinantes en la composición del fruto. En el estudio de Valiente-Banuet se observó como afecta la irrigación y las horas de sombra en la producción de capsaicinoides en *Capsicum annuum* var. *glabriusculum*, los resultados obtenidos demostraron que obviamente la irrigación y los niveles de sombra son factores importantísimos para el crecimiento de la planta, sin embargo, no fueron afectados los atributos de calidad del fruto como la cantidad total de capsaicinoides. Se pudo observar que el 50% de sombra fueron los resultados más elevados (1,63-3,13 mg/g en peso seco), pero en cuanto a la irrigación, no se identificó un patrón determinado (Valiente Banuet, 2016).

Podemos concluir que el pimiento maduro contendrá una mayor cantidad de capsaicinoides en su composición y por lo tanto un mayor grado de pungencia. El procesamiento del fruto provoca variaciones negativas en el contenido de capsaicinoides de este, disminuyendo su contenido de una manera muy significativa. La irrigación no ha afectado al contenido de capsaicinoides, sin embargo, en cuanto a las horas de luz se conoce que el mayor contenido de capsaicinoides ha sido conseguido con un 50% de sombra (Valiente Banuet, 2016).

#### 4.2.2.5 Compuestos volátiles

El factor ambiental intrínseco por excelencia en la variación del contenido de cualquier componente en el pimiento es el grado de madurez. Como ha podido ser comprobado en algunos estudios en diferentes variedades de pimientos picantes brasileños, en concreto Malagueta de la especie *Capsicum frutescens*, Dedo-de-moça de la especie *C. baccatum* y Murupi de la especie *C. chinense*, el contenido de compuestos volátiles disminuyó a menudo que incrementaba el grado de madurez del fruto, observando la desaparición total de algunos de estos compuestos. Un ejemplo es la variedad Dedo-de-moça, donde se observó una drástica disminución del área de pico, lo que hace pensar que tiene un aroma más rico y complejo en un estado inmaduro que maduro, esto también se observó en la variedad Murupi y de manera mucho menos intensa en la variedad Malagueta (Bogusz Junior et al., 2012). Parece clara la disminución de los compuestos volátiles totales, sin embargo, debido a los cambios organolépticos del pimiento en la maduración se ha observado en *C. annuum* var. *annuum* un aumento de alguno compuestos aromáticos de más del 50 % como la 2,3-butanodiano y 2-hexenal, relacionados con aromas dulces y florales, mientras que se produce una disminución de compuestos como hexanal y 2-isobutil-3-metoxipirazina, relacionados con aromas verdes y picantes (Mazida et al., 2005). Otro factor importante son las condiciones ambientales, por ello se pueden realizar estudio comparando cultivos de diferentes años, donde las lluvias, horas de luz, calidad de la tierra, minerales y muchas mas condiciones pueden variar. En el estudio de Bogusz y colaboradores se compararon los compuestos volátiles del año 2008 y 2009, y se observaron variaciones, para las cuales es difícil encontrar un patrón debido a la cantidad de variables que pueden haber cambiado (Bogusz Junior et al., 2012).

En la maduración del pimiento se produce una variación de compuestos volátiles, provocando el aumento de aquellos compuestos que están relacionados con aromas dulces y disminuyendo aquellos relacionados con aromas verdes. Las diferentes condiciones de cultivo también pueden variar el contenido de compuestos volátiles del fruto, sin embargo, todavía no ha sido encontrado patrón alguno.

# *Conclusiones*

## 5. Conclusiones

El pimiento (*Capsicum* spp.) es una hortaliza de las familias de las Solanáceas muy importante en la cultura culinaria desde hace muchos años, por ello tienen una importancia económica destacada en la agricultura. En este trabajo hemos podido concluir que la calidad organoléptica, nutricional y externa del pimiento viene influenciada por muchos factores, genéticos y ambientales. Los factores genéticos se refieren a la diversidad de diferentes especies y variedades del género *Capsicum* y los factores ambientales se refieren a los tratamientos del fruto poscosecha, procesamientos, grado de madurez, condiciones climatológicas, irrigación, horas de luz y muchos más. El objetivo es conseguir una selección de las mejores variedades (con mejores criterios de calidad) junto a las condiciones óptimas de cultivo, para conseguir la mejor calidad del fruto. La información recopilada en este trabajo puede ser útil para futuros programas de mejora en *Capsicum*.

# *Bibliografia*

## 6. Bibliografía

- Alvarez-Parrilla, E., De La Rosa, L. A., Amarowicz, R., & Shahidi, F. (2011). Antioxidant activity of fresh and processed Jalapeño and Serrano peppers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), 163–173. <https://doi.org/10.1021/jf103434u>
- Alvarez-Parrilla, E., De La Rosa, L. A., Amarowicz, R., & Shahidi, F. (2012). Protective effect of fresh and processed Jalapeño and Serrano peppers against food lipid and human LDL cholesterol oxidation. *Food Chemistry*, 133(3), 827–834. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.100>
- Aza-González, C., Núñez-Palenius, H. G., & Ochoa-Alejo, N. (2011). Molecular biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper (*Capsicum* spp.). *Plant Cell Reports*, 30(5), 695–706. <https://doi.org/10.1007/s00299-010-0968-8>
- Bae, H., Jayaprakasha, G. K., Jifon, J., & Patil, B. S. (2012). Variation of antioxidant activity and the levels of bioactive compounds in lipophilic and hydrophilic extracts from hot pepper (*Capsicum* spp.) cultivars. *Food Chemistry*, 134(4), 1912–1918. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.108>
- Baena Ruiz, R., & Salinas Hernández, P. (2016). *Cancer Chemoprevention by Dietary Phytochemicals: Epidemiological Evidence*. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2016.08.004>
- Baenas, N., Belović, M., Ilic, N., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2019). Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. *Food Chemistry*, 274(April 2018), 872–885. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.047>
- Bagheri, M. (2010). *Collection, conservation and breeding of Iranian eggplant landraces* (Issue September 2010). <https://www.researchgate.net/publication/318441134>
- Berke, T., Black, L., Talekar, N., Wang, J., Gniffke, P., Green, S., Wang, T., & Morris, R. (2005). Suggested Cultural Practices for Chili Pepper. *World Vegetable Center*, 05–620, 1–8.
- Birt, D. F., Hendrich, S., & Wang, W. (2001). Dietary agents in cancer prevention: Flavonoids and isoflavonoids. *Pharmacology and Therapeutics*, 90(2–3), 157–177. [https://doi.org/10.1016/S0163-7258\(01\)00137-1](https://doi.org/10.1016/S0163-7258(01)00137-1)
- Bogusz Junior, S., Tavares, A. M., Filho, J. T., Zini, C. A., & Godoy, H. T. (2012). Analysis of the volatile compounds of Brazilian chilli peppers (*Capsicum* spp.) at two stages of maturity by solid phase micro-extraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Food Research International*, 48(1), 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.02.005>
- Bosland, P. W., & Votava, E. J. (2003). *Peppers: Vegetable and Spice Capsicums*. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*.
- Brown, C. H., Clement, C. R., Epps, P., Luedeling, E., & Wichmann, S. (2013). The paleobiolinguistics of domesticated chili pepper (*Capsicum* spp.). *Ethnobiology Letters*, 4(1), 1–11. <https://doi.org/10.14237/eb1.4.2013.1-11>
- Carrizo García, C., Barfuss, M. H. J., Sehr, E. M., Barboza, G. E., Samuel, R., Moscone, E. A., & Ehrendorfer, F. (2016). Phylogenetic relationships, diversification and expansion of chili peppers (*Capsicum*, Solanaceae). *Annals of Botany*, 118(1), 35–51. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw079>
- Chiou, K. L., & Hastorf, C. A. (2014). A Systematic Approach to Species-Level Identification of Chile Pepper (*Capsicum* spp.) Seeds: Establishing the Groundwork for Tracking the Domestication and Movement of Chile Peppers through the Americas and Beyond. *Economic Botany*, 68(3), 316–336. <https://doi.org/10.1007/s12231-014-9279-2>
- Choi, S. H., Suh, B. S., Kozukue, E., Kozukue, N., Levin, C. E., & Friedman, M. (2006). Analysis of the contents of pungent compounds in fresh Korean red peppers and in pepper-containing foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(24), 9024–9031. <https://doi.org/10.1021/jf061157z>
- Comarca de la Vera. (2015). *Comarca de la Vera*.
- Corrêa, C. V., Mendonça, V. Z. de, Mendes de Sousa Gouveia, A., Gonçalves Carpanetti, M., Barbosa Tavares, A. E., de Brito Lima Lanna, N., Evangelista, R. M., & Inácio Cardoso, A. I. (2018). Physicochemical and biochemical traits of sweet pepper hybrids as a function of harvest times. *Food Chemistry*, 257(November 2017), 265–270. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.002>
- Costell, E. (2002). A comparison of sensory methods in quality control. *Food Quality and Preference*, 13(6), 341–353. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(02\)00020-4](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(02)00020-4)
- da Silveira Agostini-Costa, T., da Silva Gomes, I., de Melo, L. A. M. P., Reifschneider, F. J. B., & da Costa Ribeiro, C. S. (2017). Carotenoid and total vitamin C content of peppers from selected Brazilian cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 57, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.12.020>
- Deli, J., Molnár, P., Matus, Z., & Tóth, G. (2001). Carotenoid composition in the fruits of red paprika (*Capsicum annum* var. *lycopersiciforme rubrum*) during ripening; biosynthesis of carotenoids in red paprika. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(3), 1517–1523. <https://doi.org/10.1021/jf000958d>
- Dewitt, D., & Bosland, P. W. (1996). *Peppers of the world: an identification guide*. Ten Speed Press.
- Dykes, L., & Rooney, L. W. (2007). Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. *Cereal Foods World*, 52(3), 105–111. <https://doi.org/10.1094/CFW-52-3-0105>
- Echeverría, G., Graell, J., López, L., & Lara, I. (2008). La calidad organoléptica de la fruta. *Horticultura Internacional*, 61, 26–36.
- Eggink, P. M., Maliepaard, C., Tikunov, Y., Haanstra, J. P. W., Bovy, A. G., & Visser, R. G. F. (2012). A taste of sweet pepper: Volatile and non-volatile chemical composition of fresh sweet pepper (*Capsicum annum*) in relation to sensory evaluation of taste. *Food Chemistry*, 132(1), 301–310. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.081>
- Englewood Cliffs, N. . (1986). *Official analytical methods of the American Spice Trade Association*.
- Eshbaugh, W. H. (1993). *History and Exploitation of a Serendipitous New Crop Discovery* (J. Janick and J.E. Simon (ed.)).
- Eshbaugh, W. H. (2012). The taxonomy of the genus *Capsicum*. *Peppers: Botany, Production and Uses, February 2012*, 14–28. <https://doi.org/10.1079/9781845937676.0014>
- FAOSTAT. (2020). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Ferrazzano, G. F., Amato, I., Ingenito, A., Zarrelli, A., Pinto, G., & Pollio, A. (2011). Plant polyphenols and their anti-cariogenic properties: A review. *Molecules*, 16(2), 1486–1507. <https://doi.org/10.3390/molecules16021486>
- Frutas y Hortalizas. (2020). *FRUTAS Y HORTALIZAS*. <https://www.frutas-hortalizas.com/Hortalizas/Tipos-variedades-Pimiento.html>
- Gajowiak, A., & Dobrzyńska, M. M. (2014). LYCOPENE-ANTIOXIDANT WITH RADIOPROTECTIVE AND ANTICANCER PROPERTIES. A REVIEW. 65(4), 263–271.

- Ghasemnezhad, M., Sherafati, M., & Payvast, G. A. (2011). Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annuum*) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods*, 3(1), 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.02.002>
- Gilaberte, Y., Aguilera, J., Carrascosa, J. M., Figueroa, F. L., Román de Gabriel, J., & Nagore, E. (2011). Vitamin D: Evidence and Controversies. *Actas Dermo-Sifiliográficas (English Edition)*, 102(8), 572–588. <https://doi.org/10.1016/j.adengl.2011.03.013>
- Gimeno Creus, E. (2004). *Offarm*. Doyma.
- Giuffrida, D., Dugo, P., Torre, G., Bignardi, C., Cavazza, A., Corradini, C., & Dugo, G. (2013). Characterization of 12 *Capsicum* varieties by evaluation of their carotenoid profile and pungency determination. *Food Chemistry*, 140(4), 794–802. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.060>
- Guil-Guerrero, J. L., Martínez-Guirado, C., Del Mar Reboloso-Fuentes, M., & Carrique-Pérez, A. (2006). Nutrient composition and antioxidant activity of 10 pepper (*Capsicum annuum*) varieties. *European Food Research and Technology*, 224(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0281-5>
- Ha, S. H., Kim, J. B., Park, J. S., Lee, S. W., & Cho, K. J. (2007). A comparison of the carotenoid accumulation in *Capsicum* varieties that show different ripening colours: Deletion of the capsanthin-capsorubin synthase gene is not a prerequisite for the formation of a yellow pepper. *Journal of Experimental Botany*, 58(12), 3135–3144. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm132>
- Hertog, M. G. L., Feskens, E. J. M., Kromhout, D., Hertog, M. G. L., Hollman, P. C. H., Hertog, M. G. L., & Katan, M. B. (1993). Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study. *The Lancet*, 342(8878), 1007–1011. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(93\)92876-U](https://doi.org/10.1016/0140-6736(93)92876-U)
- Howard, L. R., SMITH, R. T., WAGNER, A. B., VILLALON, B., & BURNS, E. E. (1994). Provitamin A and Ascorbic Acid Content of Fresh Pepper Cultivars (*Capsicum annuum*) and Processed Jalapeños. *Journal of Food Science*, 59(2), 362–365. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb06967.x>
- Huh, J. H., Kang, B. C., Nahm, S. H., Kim, S., Ha, K. S., Lee, M. H., & Kim, B. D. (2001). A candidate gene approach identified phytoene synthase as the locus for mature fruit color in red pepper (*Capsicum* spp.). *Theoretical and Applied Genetics*, 102(4), 524–530. <https://doi.org/10.1007/s001220051677>
- Johill, B. C. (2004). *Dietary intake of fruit and vegetables and management of body weight*. Joint FAO/WHO Workshop on Fruit and Vegetables for Health.
- Khoo, H. E., Ismail, A., Mohd-Esa, N., & Idris, S. (2008). Carotenoid content of underutilized tropical fruits. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63(4), 170–175. <https://doi.org/10.1007/s11130-008-0090-z>
- Khoo, H. E., Prasad, K. N., Kong, K. W., Jiang, Y., & Ismail, A. (2011). Carotenoids and their isomers: Color pigments in fruits and vegetables. *Molecules*, 16(2), 1710–1738. <https://doi.org/10.3390/molecules16021710>
- Kocsis, N., Amtmann, M., Mednyánszky, Z., & Korány, K. (2002). GC-MS investigation of the aroma compounds of Hungarian red paprika (*Capsicum annuum*) cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(2), 195–203. <https://doi.org/10.1006/jfca.2001.1045>
- Korkutata, N. F., & Kavaz, A. (2015). A comparative study of ascorbic acid and capsaicinoid contents in red hot peppers (*Capsicum annuum* L.) grown in Southeastern Anatolia Region. *International Journal of Food Properties*, 18(4), 725–734. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.850507>
- Kozukue, N., Han, J. S., Kozukue, E., Lee, S. J., Kim, J. A., Lee, K. R., Levin, C. E., & Friedman, M. (2005). Analysis of eight capsaicinoids in peppers and pepper-containing foods by high-performance liquid chromatography and liquid chromatography - Mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(23), 9172–9181. <https://doi.org/10.1021/jf050469j>
- Kraft, K. H., Brown, C. H., Nabhan, G. P., Luedeling, E., Luna Ruiz, J. d. J., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Hijmans, R. J., & Gepts, P. (2014). Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicum annuum*, in Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(17), 6165–6170. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308933111>
- Ku, K. (2001). Characteristics of Color and Pungency in the Red pepper for Kimchi. *Korean Journal Food Science Tech.*, Vol 2, 231–237.
- Kumar, S., Kumar, R., & Singh, J. (2006). In *Handbook of herbs and spices* (pp. 299–312). Woodhead Publishing.
- Larrazabal, M. (2020). *AgroMarketing Bialar*.
- Lee, Y., Howard, L. R., & Villalón, B. (1995). Flavonoids and Antioxidant Activity of Fresh Pepper (*Capsicum annuum*) Cultivars. *Journal of Food Science*, 60(3), 473–476. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb09806.x>
- Levine, M., Conry-Cantilena, C., Wang, Y., Welch, R. W., Washko, P. W., Dhariwal, K. R., Park, J. B., Lazarev, A., Graumlich, J. F., King, J., & Cantilena, L. R. (1996). Vitamin C pharmacokinetics in healthy volunteers: Evidence for a recommended dietary allowance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93(8), 3704–3709. <https://doi.org/10.1073/pnas.93.8.3704>
- Li, Y., Yao, J., Han, C., Yang, J., Chaudhry, M. T., Wang, S., Liu, H., & Yin, Y. (2016). Quercetin, inflammation and immunity. *Nutrients*, 8(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/nu8030167>
- Linnaeus, C. (1799). *Species Plantarum* (Vol. 3). Impensis GC Nauk.
- Liu, S., Li, W., Wu, Y., Chen, C., & Lei, J. (2013). De Novo Transcriptome Assembly in Chili Pepper (*Capsicum frutescens*) to Identify Genes Involved in the Biosynthesis of Capsaicinoids. *PLoS ONE*, 8(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048156>
- Llácer, G. et al. (2006). *Mejora genética de la calidad en plantas*. (Sociedad Española de Ciencias Hortícolas y Sociedad Española de Genética. (ed.)). Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Loizzo, M. R., Pugliese, A., Bonesi, M., Menichini, F., & Tundis, R. (2015). Evaluation of chemical profile and antioxidant activity of twenty cultivars from *Capsicum annuum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum chacoense* and *Capsicum chinense*: A comparison between fresh and processed peppers. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 623–631. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.042>
- López-Hernández, J., Oruña-Concha, M. J., Simal-Lozano, J., Vázquez-Blanco, M. E., & González-Castro, M. J. (1996). Chemical composition of Padron peppers (*Capsicum annuum* L.) grown in Galicia (N.W. Spain). *Food Chemistry*, 57(4), 557–559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00191-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00191-4)
- Macua, J. I., Lahoz, I., Calvillo, S., & Orcaray, L. (2020). *Navarra Agraria*.
- MAPAMA. (2020). *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*.
- Maroto, J. V. (1983). *Horticultura herbácea especial*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Mazida, M. M., Salleh, M. M., & Osman, H. (2005). Analysis of volatile aroma compounds of fresh chilli (*Capsicum annuum*) during stages of maturity using solid phase microextraction (SPME). *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(5), 427–437.

- <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.02.001>
- Mazourek, M., Pujar, A., Borovsky, Y., Paran, I., Mueller, L., & Jahn, M. M. (2009). A dynamic interface for capsaicinoid systems biology. *Plant Physiology*, *150*(4), 1806–1821. <https://doi.org/10.1104/pp.109.136549>
- McLeod, M. J., Guttman, S. I., & Eshbaugh, W. H. (1982). Early evolution of chili peppers (Capsicum). *Economic Botany*, *36*(4), 361–368. <https://doi.org/10.1007/BF02862689>
- Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M. R., Conforti, F., Statti, G., De Cindio, B., Houghton, P. J., & Menichini, F. (2009). The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. *Food Chemistry*, *114*(2), 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.086>
- Mennella, G., D'Alessandro, A., Francese, G., Fontanella, D., Parisi, M., & Tripodi, P. (2018). Occurrence of variable levels of health-promoting fruit compounds in horn-shaped Italian sweet pepper varieties assessed by a comprehensive approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *98*(9), 3280–3289. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8831>
- Morales-Soto, A., García-Salas, P., Rodríguez-Pérez, C., Jiménez-Sánchez, C., Cádiz-Gurrea, M. de la L., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2014). Antioxidant capacity of 44 cultivars of fruits and vegetables grown in Andalusia (Spain). *Food Research International*, *58*, 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.050>
- Moreira, A. F. P., Ruas, P. M., Ruas, C. de F., Baba, V. Y., Giordani, W., Arruda, I. M., Rodrigues, R., & Gonçalves, L. S. A. (2018). Genetic diversity, population structure and genetic parameters of fruit traits in *Capsicum chinense*. *Scientia Horticulturae*, *236*(February), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.012>
- Naves, E. R., de Ávila Silva, L., Sulpice, R., Araújo, W. L., Nunes-Nesi, A., Peres, L. E. P., & Zsögön, A. (2019). Capsaicinoids: Pungency beyond Capsicum. *Trends in Plant Science*, *24*(2), 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.001>
- Nicolaï, M., Cantet, M., Lefebvre, V., Sage-Palloix, A. M., & Palloix, A. (2013). Genotyping a large collection of pepper (*Capsicum* spp.) with SSR loci brings new evidence for the wild origin of cultivated *C. annuum* and the structuring of genetic diversity by human selection of cultivar types. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *60*(8), 2375–2390. <https://doi.org/10.1007/s10722-013-0006-0>
- NIH. (2020). *National Institute of health*.
- Niranjana, R., Gayathri, R., Nimish Mol, S., Sugawara, T., Hirata, T., Miyashita, K., & Ganesan, P. (2015). Carotenoids modulate the hallmarks of cancer cells. *Journal of Functional Foods*, *18*, 968–985. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.10.017>
- Nuez, F., Gil-Ortega, R., & Costa, J. (2003). *El cultivo de pimiento, chiles y ajíes*. (Mundi- Prensa (ed.)).
- Nunn, N., & Quian, N. (2010). The Columbian Exchange: A History of Disease, Food, and Ideas. *Journal of Economic Perspectives*, *24*, 163–188.
- Olson, J. A., & Krinsky, N. I. (1995). Introduction: the colorful, fascinating world of the carotenoids: important physiologic modulators. In *The FASEB Journal* (Vol. 9, Issue 15, pp. 1547–1550). <https://doi.org/10.1096/fasebj.9.15.8529833>
- Omenn, G. S. (1998). CHEMOPREVENTION OF LUNG CANCER: The Rise and Demise of Beta-Carotene. *Annual Review of Public Health*, *19*(1), 73–99. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.19.1.73>
- Padayatty, S. J., Katz, A., Wang, Y., Eck, P., Kwon, O., Lee, J., Chen, S., Corpe, C., Dutta, A., Dutta, S. K., & Levine, M. (2003). Digestive Diseases Branch, National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. *J. Journal of the American College of Nutrition*, *22*(1), 18–35.
- Perry, L., Dickau, R., Zarrillo, S., Holst, I., Pearsall, D. M., Piperno, D. R., Berman, M. J., Cooke, R. G., Rademaker, K., Ranere, A. J., Raymond, J. S., Sandweiss, D. H., Scaramelli, F., Tarble, K., & Zeidler, J. A. (2007). Starch fossils and the domestication and dispersal of chili peppers (*Capsicum* spp. L.) in the Americas. *Science*, *315*(5814), 986–988. <https://doi.org/10.1126/science.1136914>
- Peshin, S. S., Lall, S. B., & Gupta, S. K. (2002). Potential food contaminants and associated health risks. In *Acta Pharmacologica Sinica* (Vol. 23, Issue 3, pp. 193–202).
- Pickersgill, B. (1997). Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. *Euphytica*, *96*(1), 129–133. <https://doi.org/10.1023/A:1002913228101>
- Portis, E., Acquadro, A., Comino, C., & Lanteri, S. (2004). Effect of farmers' seed selection on genetic variation of a landrace population of pepper (*Capsicum annuum* L.), grown in North-West Italy. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *51*(6), 581–590. <https://doi.org/10.1023/B:GRES.0000024648.48164.c3>
- Pugliese, A., Loizzo, M. R., Tundis, R., O'Callaghan, Y., Galvin, K., Menichini, F., & O'Brien, N. (2013). The effect of domestic processing on the content and bioaccessibility of carotenoids from chili peppers (*Capsicum* species). *Food Chemistry*, *141*(3), 2606–2613. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.046>
- RAE. (2020). *Diccionario de la lengua española*. <https://dle.rae.es>
- Raigón, M. D. (2006). El nivel de pungencia de las cebollas. *Horticultura Internacional*, 48–51.
- Rao, A. V., & Rao, L. G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, *55*(3), 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2007.01.012>
- Rêgo, E. R. do, Rêgo, M. M. do, Matos, I. W. F. de, & Barbosa, L. A. (2011). Morphological and chemical characterization of fruits of *Capsicum* spp. accessions. *Horticultura Brasileira*, *29*(3), 364–371. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362011000300018>
- Ribes-Moya, A. M., Raigón, M. D., Moreno-Peris, E., Fita, A., & Rodríguez-Burruezo, A. (2018). Response to organic cultivation of heirloom *Capsicum* peppers: Variation in the level of bioactive compounds and effect of ripening. *PLoS ONE*, *13*(11), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207888>
- Rodríguez-Burruezo, A., Kollmannsberger, H., González-Mas, M. C., Nitz, S., & Fernando, N. (2010). HS-SPME comparative analysis of genotypic diversity in the volatile fraction and aroma-contributing compounds of capsicum fruits from the annuum ? chinense ? *Frutescens* complex. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*(7), 4388–4400. <https://doi.org/10.1021/jf903931t>
- Ruiz, H., & Pavón, J. A. (1794). *Florae Peruviana, et Chilensis Prodrum*.
- Schweiggert, U., Schieber, A., & Carle, R. (2006). Effects of blanching and storage on capsaicinoid stability and peroxidase activity of hot chili peppers (*Capsicum frutescens* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *7*(3), 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.03.003>
- Shashirekha, M. N., Mallikarjuna, S. E., & Rajarathnam, S. (2015). Status of Bioactive Compounds in Foods, with Focus on Fruits and Vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *55*(10), 1324–1339. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.692736>
- Shewfelt, R. . et al. (2000). *Fruit and vegetable quality*. Technomic Publ. Co. Inc.

- Stahl, W., & Sies, H. (2003). Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*, 24(6), 345–351. [https://doi.org/10.1016/S0098-2997\(03\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0098-2997(03)00030-X)
- Starkenmann, C., & Niclass, Y. (2011). New Cysteine- S -Conjugate Precursors of Volatile Sulfur Compounds in Bell Peppers ( *Capsicum annuum* L. Cultivar). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(7), 3358–3365. <https://doi.org/10.1021/jf1042322>
- Sunil Kumar, B. V., Singh, S., & Verma, R. (2017). Anticancer potential of dietary vitamin D and ascorbic acid: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(12), 2623–2635. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1064086>
- Tundis, R., Menichini, F., Bonesi, M., Conforti, F., Statti, G., Menichini, F., & Loizzo, M. R. (2013). Antioxidant and hypoglycaemic activities and their relationship to phytochemicals in *Capsicum annuum* cultivars during fruit development. *LWT - Food Science and Technology*, 53(1), 370–377. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.02.013>
- U.S. Department of agriculture. (2020). *U.S. National Plant Germplasm System*.
- Unzueta, Q. (1975). *Mapa Ecológico de Bolivia*. Bolivia. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. División de Suelos, Riegos e Ingeniería.
- Valiente Banuet, J. I. (2016). Effect of Irrigation Frequency and Shade Levels on Vegetative Growth, Yield, and Fruit Quality of Piquin Pepper (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*). *Hort Science*, 51(5), 573–579.
- Vallespir, A. N. et al. (2010). *El pimiento en el mundo*.
- Wahyuni, Y., Ballester, A. R., Sudarmonowati, E., Bino, R. J., & Bovy, A. G. (2011). Metabolite biodiversity in pepper (*Capsicum*) fruits of thirty-two diverse accessions: Variation in health-related compounds and implications for breeding. *Phytochemistry*, 72(11–12), 1358–1370. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.03.016>
- WIKIPEDIA. (2020). *WIKIPEDIA*.
- Williamson, G. (1996). Protective effects of fruits and vegetables in the diet. *Nutrition & Food Science*, 96(1), 6–10. <https://doi.org/10.1108/00346659610105806>
- Zhigila, D. A., Abdulrahman, A. A., Kolawole, O. S., & Oladele, F. A. (2014). Fruit morphology as taxonomic features in five varieties of *Capsicum annuum* L. solanaceae. *Journal of Botany*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/540868>
- Zhuang, Y., Chen, L., Sun, L., & Cao, J. (2012). Bioactive characteristics and antioxidant activities of nine peppers. *Journal of Functional Foods*, 4(1), 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.01.001>
- Zimmer, A. R., Leonardi, B., Miron, D., Schapoval, E., Oliveira, J. R. De, & Gosmann, G. (2012). Antioxidant and anti-inflammatory properties of *Capsicum baccatum*: From traditional use to scientific approach. *Journal of Ethnopharmacology*, 139(1), 228–233. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.11.005>