



Estudio de la respuesta del contenido en compuestos antioxidantes en pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo sistemas de cultivo ecológico y convencional

TESINA FINAL DE MASTER



INSTITUT DE CONSERVACIÓ I MILLORA DE
L'AGRODIVERSITAT VALENCIANA
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ALUMNO/A: DAVID UROZ TOMÁS

TUTOR/A ACADÉMICO: ADRIÁN RODRÍGUEZ BURRUEZO

COTUTOR/A EXPERIMENTAL: ANA MARÍA RIBES MOYA

Curso Académico 2015/2016

VALENCIA, 27 de Julio de 2016

El/los Doctor/es D./D^a. **Adrián Rodríguez Burruezo** profesor/es del Master Oficial Interuniversitario en Mejora Genética Vegetal, en calidad de director/es del Trabajo de Fin de Máster, por la Presente,

RECONOCE/N

Que el Trabajo Fin de Máster realizado por el/la alumno/a D./D^a.: **David Uroz Tomás**, con el título: “**Estudio de la respuesta del contenido en compuestos antioxidantes en pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo sistemas de cultivo ecológico y convencional**” y realizado bajo mi/nuestra dirección, reúne las condiciones necesarias para completar la formación del alumno y por tanto,

AUTORIZA/N

La presentación del citado Trabajo Final de Máster para su defensa ante el correspondiente Tribunal.

Y para que así conste a los efectos oportunos así lo firma/n,

Fdo: **Adrián Rodríguez Burruezo**

Máster Oficial en Mejora Genética Vegetal

Valencia, 25 de JULIO de 2016

Autor: David Uroz Tomás, con DNI 46150714H

Director/es: Adrián Rodríguez Burruezo¹, Ana María Ribes Moya²

Universidad Politécnica de Valencia, Máster en Mejora Genética Vegetal

RESUMEN

En los últimos años, el cultivo ecológico ha ganado importancia debido a la concienciación del consumidor y las instituciones sobre sus beneficios para el medioambiente y la salud humana. El pimiento es uno de los cultivos más importantes del mundo, consumido de diferentes formas, proporciona una cantidad importante de compuestos bioactivos con actividad antioxidante que han demostrado tener efectos positivos sobre la salud. Debido a la escasez de estudios sobre el comportamiento del pimiento en sistemas de cultivo ecológico, se desconoce el efecto de éste tratamiento sobre los compuestos antioxidantes. Este ensayo evalúa distintas accesiones de pimiento en sistemas de cultivo ecológico y convencional, permitiendo comparar el comportamiento de los antioxidantes de interés entre tratamientos, estados de madurez y variedades, así como la interacción entre estos. Se observó que todos los factores fueron significativos de manera general, un análisis más exhaustivo mostró que el principal factor contribuyente a esta variación fue la entrada usada. No se observaron diferencias significativas entre los resultados obtenidos en ambos tipos de cultivo así como estados de maduración, sin embargo observando la interacción del genotipo \times sistema de cultivo se hallaron diferencias entre algunos genotipos que podrían ser susceptibles de ser usados en programas de mejora para el cultivo ecológico.

RESUM

En els darrers anys, el cultiu ecològic ha guanyat importància degut a la conscienciació del consumidor i les institucions sobre els seus beneficis pel medi ambient i la salut humana. El pebrot es un dels cultius més importants arreu del món, consumit de diverses formes, proporciona una quantitat important de compostos bioactius amb activitat antioxidant, que han demostrat tenir efectes positius per la salut. Degut a la falta d'estudis sobre el comportament del pebrot en sistemes de cultiu ecològic, es desconeix l'efecte d'aquest tractament sobre els compostos antioxidants. Aquest estudi avalua diferents accessions de pebrot en sistemes de cultiu ecològic i convencional, fent possible comparar el comportament d'ambdós antioxidants d'interès entre tractaments, estats de maduresa i varietats, així com les interaccions entre aquests. Es va observar

que tots els factors van ser significatius de manera general, un anàlisi més exhaustiu va demostrar que el principal factor que contribueix a la variació va ser l'entrada utilitzada. No es van observar diferències significatives entre els resultats obtinguts en ambdós tipus de cultiu així com estats de maduresa, no obstant observant la interacció del genotip \times sistema de cultiu es van trobar diferències entre algunes varietats, fent-les susceptibles de ser utilitzades en programes de millora per al cultiu ecològic.

ABSTRACT

In recent years, organic agriculture has increased its importance owing to the raising-awareness of consumers and institutions regarding its environmental and health benefits. The chili pepper is one of the most important crops around the world and it is consumed in diverse ways, providing an important amount of bioactive compounds in the process. These compounds have been proven to have positive health effects. Due to a scarcity of peppers behaviour under organic cultivation studies the effects of this practice on the antioxidant compounds are still unknown. The aim of this study is to evaluate different varieties under organic and conventional cultivation, allowing comparisons between cultivation methods, ripening stages and varieties antioxidants levels, including interactions between factors. A significance difference was observed for all main factors. An exhaustive analysis demonstrated that genotype was the most important factor in terms of variation. No significant differences were observed between cultivation methods or ripening stages, nevertheless the evaluation of genotype \times cultivation method analysis identified genotypes that may be used for breeding under organic conditions.

¹ Adrián Rodríguez Burruezo, COMAV, Universitat Politècnica de València, Campus de Vera Camino de Vera, s/n, 46022, Valencia, España

² Ana María Ribes Moya, COMAV, Universitat Politècnica de València, Campus de Vera Camino de Vera, s/n, 46022, Valencia, España

PALABRAS CLAVE: cultivo ecológico, cultivo convencional, pimiento, compuestos bioactivos, antioxidantes, estados de madurez, ácido ascórbico, polifenoles

KEYWORDS: organic agriculture, conventional agriculture, chili pepper, bioactive compounds, antioxidants, ripening stages, ascorbic acid, polyphenols

CLASIFICACIÓN DE
LA UNESCO

Códigos UNESCO:

CAMPO	DISCIPLINA	SUBDISCIPLINA
24	2409	240992
24	2417	241714

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Importancia económica del pimiento	1
1.2 Características morfológicas	3
1.3 Fisiología y manejo del cultivo.....	4
1.4 Origen, domesticación y difusión	5
1.5 Taxonomía.....	7
1.6 Calidad del fruto y objetivos de mejora: compuestos bioactivos	11
1.6.1 Calidad externa.....	11
1.6.2 Calidad interna.....	12
1.7 Cultivo ecológico.....	14
1.7.1 Generalidades del cultivo ecológico	14
1.7.2 Principales características de la agricultura ecológica	16
1.7.3 El papel de las variedades tradicionales en el cultivo ecológico	18
1.7.4 Influencia del cultivo ecológico en la calidad del fruto.....	18
2. OBJETIVOS	21
3. MATERIAL Y MÉTODOS	23
3.1 Material vegetal.....	23
3.2 Condiciones de cultivo.....	24
3.3 Diseño experimental y análisis estadístico.....	26
3.4 Análisis de compuestos bioactivos	27
3.4.1 Contenido en ácido ascórbico (CAA)	27
3.4.2 Contenido en fenoles totales (FT).....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1 Análisis de la varianza general.....	32
4.2 Estudio descriptivo de la variación en CAA por estados de maduración	34
4.2.1 Efecto de la variedad, el sistema de cultivo y su interacción en frutos inmaduros.....	34

4.2.2	Efecto de la variedad, el sistema de cultivo y su interacción en frutos maduros	36
4.2.3	Estudio de la interacción estado de madurez × sistema de cultivo.....	38
4.3	Estudio descriptivo de la variación en FT por estados de maduración.....	40
4.3.1	Efecto de la variedad, el sistema de cultivo y su interacción en frutos inmaduros	40
4.3.2	Efecto de la variedad, el sistema de cultivo y su interacción en frutos maduro	41
4.3.3	Estudio de la interacción estado de madurez × sistema de cultivo.....	43
5.	CONCLUSIONES	46
6.	BIBLIOGRAFÍA	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción en toneladas y hectáreas de área cultivada para pimiento fresco por cada continente en 2013 (FAO, 2016).	1
Tabla 2. Superficie (en hectáreas), rendimiento (en kilogramos por hectárea) y producción (en toneladas) por provincia y comunidad autónoma para pimiento fresco en España en 2014 (MAGRAMA, 2016).	3
Tabla 3. Especies Capsicum cultivadas y sus silvestres relacionadas (adaptado de Nuez et al., 2003 y Singh, 2006).	8
Figura 6. Detalle de las flores blancas-verdosas con manchas amarillentas y las formas varietales más conocidas.....	10
Tabla 3. Acciones evaluadas en este estudio y sus respectivos códigos, nombres locales y procedencia.	23
Tabla 4. ANOVA general para el contenido en ácido ascórbico (CAA) y fenoles totales (FT).....	33
Tabla 5. ANOVA específico para el contenido en ácido ascórbico (CAA) y fenoles totales (FT) en cada uno de los estados de madurez.	34
Tabla 6. Contenido medio de ácido ascórbico (CAA, en mg/100 g de materia fresca) estimado en frutos inmaduros para cada una de las variedades usadas de pimiento, medido en un sistema de cultivo ecológico y convencional y coeficiente de regresión (β) sobre la media ambiental.....	36
Tabla 7. Contenido medio de ácido ascórbico (CAA, en mg/100 g de materia fresca) estimado en frutos maduros para cada una de las variedades usadas de pimiento, medido en un sistema de cultivo ecológico y convencional y coeficiente de regresión (β) sobre la media ambiental.	38
Tabla 8. Contenido medio de fenoles totales (FT, en mg equivalentes clorogénico/100 g de materia fresca) estimado en frutos inmaduros para cada una de las variedades usadas de pimiento, medido en un sistema de cultivo ecológico y convencional y coeficiente de regresión (β) sobre la media ambiental.	41
Tabla 9. Contenido medio de fenoles totales (FT, en mg equivalentes clorogénico/100 g de materia fresca) estimado en frutos maduros para cada una de las variedades usadas de pimiento, medido en un sistema de cultivo ecológico y convencional y coeficiente de regresión (β) sobre la media ambiental.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de producción total de cada continente para pimiento fresco en 2013 (FAO, 2016).	1
Figura 2. Principales productores de pimiento para consumo en fresco en 2013 (FAO, 2016).	2
Figura 3. Centro de origen y centros de domesticación del género Capsicum en la época precolombina (adaptado de Heiser, 1976).	6
Figura 4. Foto de la flor púrpura y frutos con semillas negras, caracteres propios de <i>C. pubescens</i>	9
Figura 5. Foto de la flor típica de <i>C. annum</i> así como de la gran variabilidad de frutos en cuanto a forma y color.	9
Figura 7. Flor de <i>C. chinense</i> , detalle de la constricción anular que presentan los frutos y distintos tipos de frutos.	10
Figura 8. Flores típicas de <i>C. frutescens</i> , crecimiento erecto que presentan los frutos y forma de los frutos característica.	11
Figura 9. Evolución por continentes del área (millones de hectáreas) dedicada a la agricultura ecológica 2005-2013 (FIBL-IFOAM, 2016).	15
Figura 10. Superficie europea en hectáreas dedicadas al cultivo ecológico en 2013 (FIBL, 2015).	16
Figura 11. Localización geográfica de las parcelas entre los municipios de Puzol y Sagunto (Valencia). A la izquierda (C) la parcela de cultivo convencional (39°38'37.8"N 0°17'08.5"W) y a la derecha (E) la parcela de cultivo ecológico (39°37'55.0"N 0°16'01.3"W).	25
Figura 13. Reflectómetro portátil RQflex plus de Merck y test de ácido ascórbic usado.	27
Figura 14. Fotografía tomada antes de introducir la bandeja con las muestras en el liofilizador.	29
Figura 15. Detalle de las muestras en la noria en la que se mantienen 24h girando (izquierda) y placa de 96 pocillos con muestras preparadas para ser leídas en el espectrofotómetro.	30
Figura 16. Gráfica comparativa del contenido en ácido ascórbico (CAA en mg/ 100 g de materia fresca en el sistema de cultivo convencional y ecológico. Las líneas de tendencia en la gráfica muestran la pendiente 1 (indica que el CAA se ha mantenido igual a lo largo del cultivo; CAA maduros/CAA inmaduros = 1 y por tanto el incremento 0%), la pendiente 2 (indica que el CAA se ha doblado durante el ciclo de cultivo; CAA maduros/CAA inmaduros = 2 y por tanto el incremento es de 100% con la maduración) y la pendiente	

4 indica que se ha cuádruplicado el CAA ($CAA \text{ maduros}/CAA \text{ inmaduros} = 4$) y por tanto un incremento del 300% 39

Figura 17. Gráfica comparativa del contenido en fenóles totales (FT en mg equiv. clorog./100 g de materia fresca) en el sistema de cultivo convencional y ecológico. Las líneas de tendencia en la gráfica muestran la pendiente 1 (indica que el CAA se ha mantenido igual a lo largo del cultivo; $CAA \text{ maduros}/CAA \text{ inmaduros} = 1$ y por tanto el incremento 0%) y la pendiente 2 (indica que el CAA se ha doblado durante el ciclo de cultivo; $CAA \text{ maduros}/CAA \text{ inmaduros} = 2$ y por tanto el incremento es de 100% con la maduración)..... 44

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia económica del pimiento

El nombre pimiento, chile o ají hace referencia a diversas especies pertenecientes al género *Capsicum*, dentro de la familia de las solanáceas. Este grupo de especies constituyen uno de los cultivos más importantes en todo el mundo con cerca de 2 millones de hectáreas cultivadas (FAO, 2016). Su uso principal es el culinario, ya sea en fresco, seco o conserva, ya que goza de gran apreciación por sus cualidades organolépticas y nutraceuticas. Estas últimas vienen dadas por su contenido en vitamina C, carotenoides y polifenoles, compuestos muy valorados por su actividad antioxidante y antiinflamatoria, así como anticancerígena (Rice-Evans *et al.*, 1997; Nichols & Kativar, 2010; Ferrazzano *et al.*, 2011). Otros usos que se le dan a los pimientos, aunque en menor grado, son los de ornamental con tipos enanos de frutos pequeños y llamativos, medicinal para trastornos digestivos sobretodo, o como conservante alimentario de forma tradicional.

Dada su ya conocida importancia, cabe destacar que la producción anual de pimiento para consumo en fresco a nivel mundial es de 31 millones de toneladas. Esta producción está predominada principalmente por Asia, que posee aproximadamente el 70%. Por otra parte América, aun siendo el lugar de origen de la especie, solo ocupa el 12% de la producción. Por detrás tenemos África y Europa con una producción similar, abarcando un 9% de la producción cada uno (FAO, 2016). Es importante señalar que África, aun teniendo más superficie de cultivo que América y Europa, no llega al mismo rendimiento en sus cultivos, dando como resultado producciones menores (**Fig. 1 y Tabla 1**).

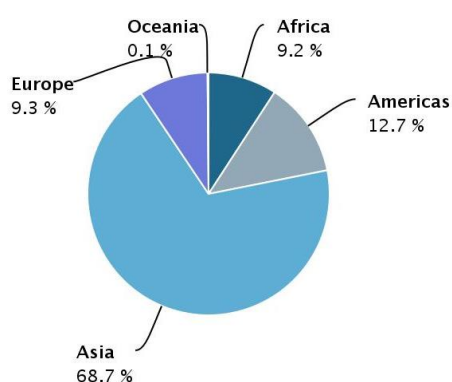


Figura 1. Porcentaje de producción total de cada continente para pimiento fresco en 2013 (FAO, 2016).

Tabla 1. Producción en toneladas y hectáreas de área cultivada para pimiento fresco por cada continente en 2013 (FAO, 2016).

	Producción (toneladas)	Área cultivada (hectáreas)
Asia	21.376.063	1.222.437
Américas	3.948.382	223.192
Europa	2.892.830	119.115
África	2.859.520	364.515
Oceanía	40.149	1.914

Por lo que respecta a la producción de pimientos frescos a nivel de país, China es el principal productor mundial con 16 millones de toneladas al año. Inmediatamente después se encuentran México, Turquía e Indonesia con 2,3; 2,2 y 1,7 millones de toneladas producción respectivamente (**Fig. 2**). España se encuentra en el quinto puesto con una producción cercana al millón de toneladas al año. De manera parecida, los países que predominan para su cultivo en seco son India con 1,3 millones de toneladas y China con 300.000 toneladas.

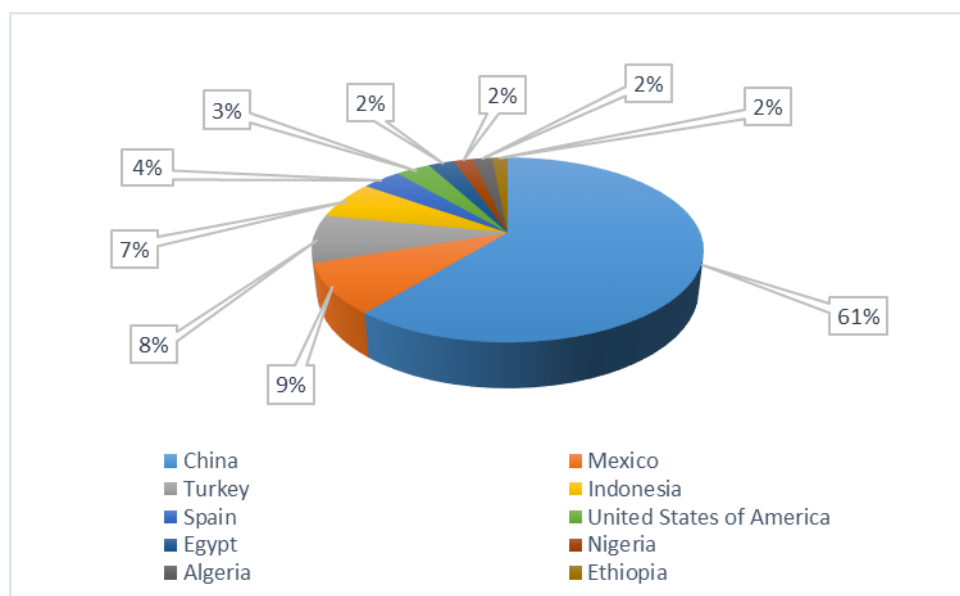


Figura 2. Principales productores de pimiento para consumo en fresco en 2013 (FAO, 2016).

En nuestro país se dedican un total de 18.000 ha al cultivo del pimiento (FAO, 2016), donde la provincia que más produce es Andalucía con más de medio millón de toneladas en el año 2014, le siguen Murcia, Galicia, Castilla la Mancha y la Comunidad Valenciana (MAGRAMA, 2016), tal y como se muestra la **Tabla 2**. Aun teniendo un porcentaje de producción relativamente bajo comparado con otros países productores, es el país que más ingresos genera por exportación de pimiento en el mundo, con un total de 873,62 millones de euros y 700.000 toneladas según datos del 2015 (ONU COMTRADE, 2016). Junto a México y a Holanda, acaparan el 61,5% del volumen de exportación mundial. Por estas razones el cultivo del pimiento y su evolución es de gran importancia para el país, así como para todos los implicados en el proceso, ya sean agricultores, cooperativas, casas de semillas, mejoradores o cualesquiera de las tareas requeridas para que el pimiento se forme a partir de la semilla y desde el campo llegue al consumidor.

Tabla 2. Superficie (en hectáreas), rendimiento (en kilogramos por hectárea) y producción (en toneladas) por provincia y comunidad autónoma para pimiento fresco en España en 2014 (MAGRAMA, 2016).

Provincias y Comunidades Autónomas	Superficie (hectáreas)			Total	Rendimiento (kg/ha)		Producción (toneladas)	
	S ¹	Regadío			S ¹	Regadío		
		AL ²	P ³			AL ²		P ³
GALICIA	38	538	612	1.188	8.992	53.945	55.459	63.305
P. DE ASTURIAS	19	4	3	26	8.000	15.000	20.000	272
CANTABRIA	10	–	–	10	16.000	–	–	160
PAÍS VASCO	115	132	50	297	8.483	16.168	30.033	4.611
NAVARRA	–	718	6	724	–	25.134	27.500	18.211
LA RIOJA	–	156	3	159	–	25.500	40.000	4.098
ARAGÓN	–	81	3	84	–	14.000	25.000	1.209
CATALUÑA	–	349	17	366	–	22.116	46.364	8.507
BALEARES	–	67	37	104	–	24.450	40.300	3.129
CASTILLA Y LEÓN	–	254	17	271	–	18.899	70.294	5.996
MADRID	–	7	4	11	–	25.000	50.000	375
CASTILLA-LA MANCHA	–	1.077	400	1.477	–	37.008	40.000	55.858
C. VALENCIANA	4	351	300	655	10.000	35.990	105.624	44.360
R. DE MURCIA	–	211	1.013	1.224	–	45.000	89.000	99.652
EXTREMADURA	–	384	14	398	–	36.095	280.429	17.786
ANDALUCÍA	30	2.074	8.165	10.269	9.245	32.520	69.176	632.546
CANARIAS	18	63	96	177	10.000	41.870	77.116	10.221
ESPAÑA	234	6.466	10.740	17.440	9.088	33.195	70.161	970.296

S¹: secano AL²: aire libre P³: protegido

1.2 Características morfológicas

Dentro de la diversidad de especies usadas del género *Capsicum* que veremos más adelante, podemos describir las plantas de pimiento como herbáceas perennes que se cultivan de forma anual, tallos de crecimiento erecto y limitado. Su altura puede variar de 0,5 a más de 2 metros de altura según la variedad y las condiciones usadas (Maroto, 1989; Nuez *et al.*, 2003).

El sistema radicular es pivotante, posee varias raíces adventicias muy ramificadas que pueden llegar a una longitud entre los 50 cm y 1 m, así como una profundidad de 60 m. Sus hojas son enteras con forma lanceolada u ovada, de borde entero o ligeramente sinuado en la base y con el pecíolo largo o casi sésil. Las flores son hermafroditas o autógamas, aunque puede presentarse un pequeño porcentaje de alogamia, se insertan en las axilas de las hojas con pétalos blancos lechosos y sépalos verdes persistentes hasta la maduración. Los frutos son de tipo baya y huecos por dentro, su superficie es lisa y brillante además de tener colores diversos dependiendo del cultivar. En el interior del fruto se desarrollan dos o cuatro tabiques incompletos que se unen en la base sobre la placenta, aquí es donde se alojan las semillas, de forma

hemidiscoidal aplastada con de 4 a 5 mm de diámetro, así como color blanco-amarillento. En *C. pubescens* excepcionalmente son negras y con forma arrugada.

1.3 Fisiología y manejo del cultivo

Si comparamos con otra solanácea como el tomate, el pimiento tiene necesidades agroclimáticas más exigentes, aunque hay excepciones como las variedades de fruto pequeño que pueden aguantar condiciones menos favorables. Las temperaturas mínimas para que el cultivo no se retrase o no se desarrolle son 15°C, mientras que las máximas a partir de las cuales el cultivo se vería afectado negativamente por estrés térmico son de 35 – 40 °C. En temperaturas superiores a las mencionadas combinadas con humedad relativa baja, producen caída de flores así como de frutos recién cuajados. Las temperaturas óptimas diurnas oscilan pues entre los 20 – 25 °C mientras que las nocturnas entre 18 – 20 °C. En estadios más avanzados de su desarrollo la planta es menos sensible a este estrés, sin embargo las temperaturas altas después de la polinización conducen a una inhibición de la maduración del fruto y posterior abscisión (Erickson & Markhart, 2002).

La humedad relativa debe ser superior al 50% en periodo de crecimiento, llegando a un máximo del 70%, por encima o por debajo de este margen las condiciones serían subóptimas para el cultivo, ya sea por desarrollo de enfermedades o falta de nutrientes. Es una planta sensible a la salinidad y se recomienda usar suelos ricos en materia orgánica debido a la demanda especial de nitrógeno por parte de la planta en las primeras fases del cultivo, cabe añadir también una buena aireación, permeabilidad y drenaje. Se estima que para el cultivo de pimiento son necesarios 1 m³/m³ de agua en primavera. Soporta además cierta acidez, siendo óptimo un pH entre el 5,5 y el 7,0 (Nuez *et al.*, 2003).

Para su comercialización se obtiene el plantón de semilleros, que se trasplantará al terreno donde se dará lugar al cultivo mediante herramientas adecuadas para ello. El trasplante se hace a raíz desnuda o con cepellón, cuando las temperaturas son adecuadas en un marco de plantación aproximado de 0,5 m entre plantas y 1 m entre líneas de manera general, llegando a densidades comprendidas entre 50.000 y 70.000 plantas/ha.

En cuanto a labores culturales se refiere son necesarias escardadas antes y durante el cultivo, aporcados para evitar el contacto directo del tallo con el agua que proviene del riego, podas de formación para delimitar el número de tallos que desarrollará la

planta (2 o 3 normalmente), así como el entutorado de las plantas que tengan suficiente altura y cantidad de frutos evitando que quiebren y caigan los frutos al suelo. Una vez recogidos los frutos es frecuente realizar también podas de regeneración.

La cosecha puede prolongarse de dos a tres meses, ya que la fructificación es escalonada en la mayoría de variedades de pimiento. Dependiendo de condiciones externas determinadas por las demandas de los mercados, las condiciones climáticas, la seguridad alimentaria y la variedad, se pueden encontrar variaciones en cuanto al número de cosechas.

1.4 Origen, domesticación y difusión

Todas las especies pertenecientes al género *Capsicum* tienen su origen en América del Sur, más concretamente en el borde oriental de los Andes bolivianos (Smith & Heiser, 1957; Heiser, 1976; McLeod *et al.*, 1982). El consumo de esta hortaliza se remonta miles de años atrás; se han encontrado restos precolombinos en cuevas de México que datan del 7.000 A.C (McClung, 1992). Según la hipótesis de los mismos investigadores, la especie habría sufrido un proceso migratorio que daría lugar a su especiación y por consiguiente separación de los distintos taxones existentes a día de hoy.

Cuando se dio lugar a la especiación se pudieron distinguir dos grandes grupos: las especies de flores púrpura y las de flores blancas. El linaje perteneciente a las plantas de flores púrpura, cuyo ancestro fue *C. eximium*, habría migrado hacia las tierras altas de los Andes, donde originarían la especie silvestre *C. cardenasii* y a la especie domesticada *C. pubescens*. Las especies de flores blancas se originaron en las tierras del sur de Bolivia y la cuenca Amazónica, su ancestro fue *C. baccatum* el cual originaría más tarde las especies más conocidas como son *C. annuum*, *C. chinense* y *C. frutescens* (**Fig. 3**).



Figura 3. Centro de origen y centros de domesticación del género *Capsicum* en la época precolombina (adaptado de Heiser, 1976).

Este último grupo sufrió dos procesos de domesticación distintos; en la Amazonia Boliviana se domesticó *C. chinense* y *C. frutescens* mientras que *C. annuum* se originó por domesticación en México (Pickersgill, 1989; Moscone *et al.*, 2006). A raíz de esta separación, la variedad de caracteres para con los frutos de cada especie aumentó; aparecieron frutos dulces y otros picantes, colores que iban del blanco hasta el verde para inmaduros además de amarillo hasta rojo oscuro para maduros, formas largas y delgadas mientras que otras eran cortas y redondeadas, portes más derechos y otros más pendientes, entre otros caracteres (Pochard *et al.*, 1992).

La época postcolombina empezó con la llegada de los conquistadores españoles a América. Cristóbal Colón cuya misión era acortar el camino a las islas del Extremo Oriente para adquirir especias más fácilmente y así controlar el mercado, se encontró con un continente desconocido donde descubrió una nueva e inmensa variedad de alimentos. Uno de ellos fue el pimiento, al que llamó así por su parecido en pungencia a la pimienta (Heiser, 1976; Nuez *et al.*, 2003).

El mismo Colón la introdujo a Europa desde 1493, donde el cultivo se extendió por el Mediterráneo llegando a Inglaterra al 1548 y al resto de Europa central a lo largo del siglo XVI (Namesny, 2006). Fueron los portugueses quienes lo introdujeron en África y la India desde finales del siglo XVI, cultivándose ampliamente en China a finales del

siglo XVIII (Boswell, 1949). Por último los españoles lo llevaron a Estados Unidos donde empezó su cultivo comercial a finales del siglo XVI (DeWitt & Gerlach 1990). La clave de su éxito fue que representaban una alternativa económica a la pimienta asiática, motivo por el cual acabó revolucionando la gastronomía de muchos de estos países, en los cuales actualmente se usa pimienta en muchos de sus platos típicos.

1.5 Taxonomía

La terminología asociada al género *Capsicum* es diversa, según dónde nos encontremos puede denominarse pimienta, chile, ají, guindilla, chili pepper o tabasco. Éste género de plantas que se sitúa en la familia de las Solanáceas incluye unas cuarenta especies; cinco de ellas son especies cultivadas y como ya hemos visto de gran importancia agronómica y alimentaria en todo el mundo, evidenciado en su amplio uso y distribución alrededor del globo e innumerables aplicaciones gastronómicas (Eshbaugh; 1975; DeWitt & Bosland, 2009).

Debido a la gran variación de tipos de plantas así como morfotipos florales y sobretodo frutales resultado de la selección bajo domesticación, la lista de especies pertenecientes a este género ha ido creciendo a lo largo del siglo XVIII. Por este motivo el 1980 el International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR) convocó a los expertos en la materia para actualizar la clasificación del género *Capsicum*. En el 1983 fue publicada la guía de determinación de las especies principales. Posteriormente gracias a la combinación de los resultados geográficos, de origen, caracteres morfológicos, comportamientos reproductivos, análisis de cariotipo y marcadores bioquímicos y moleculares han llevado a los expertos a clasificar este género en tres complejos principales, incluyendo las cinco especies y sus parentales silvestres (Singh, 2006). Estos tres grupos están organizados en dos ramas filogenéticas; las especies de flores blancas incluyendo los complejos *C. annum* y *C. baccatum*, y las especies de flores púrpura que incluye únicamente al complejo *C. pubescens* (Pickersgill *et al.*, 1979; Eshbaugh, 1979; 1980; McLeod *et al.*, 1982; Loaiza-Figueroa *et al.*, 1989) (**Tabla 3**).

Tabla 3. Especies *Capsicum* cultivadas y sus silvestres relacionadas (adaptado de Nuez et al., 2003 y Singh, 2006).

Especies	Carácter	Distribución
✦ Especies de flores púrpura		
<i>C. cardenasii</i> Heiser & Smith	Silvestre	Bolivia
<i>C. eximium</i> A.T.Hunz.	Silvestre	Argentina, Bolivia
<i>C. pubescens</i> Ruiz & Pav	Cultivada	De Bolivia a Colombia, Costa Rica, Guatemala, Honduras, México
<i>C. tovarii</i> Eshbaugh	Silvestre	Perú
✦ Especies de flores blancas		
<i>C. annuum</i> L.		
var. <i>glabriusculum</i>	Silvestre	De Colombia al sur de Estados Unidos
var. <i>annuum</i>	Cultivada	A través de América Latina
<i>C. baccatum</i> L.		
var. <i>baccatum</i>	Silvestre	Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Perú
var. <i>pendulum</i> Wild.	Cultivada	Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia meridional, Ecuador, Paraguay, Perú
<i>C. chacoense</i> A.T.Hunz.	Silvestre	Argentina, Bolivia, Paraguay
<i>C. chinense</i> Jacq.	Silvestre	Caribe, Centro y Sudamérica
	Cultivada	Del Sur de Bolivia al Sur de Brasil, Belize, Costa Rica, México, Nicaragua, Indias Occidentales
<i>C. coccineum</i> A.T.Hunz.	Silvestre	Bolivia, Perú
<i>C. frutescens</i> L.	Silvestre	América Central
	Cultivada	Colombia, Costa Rica, Guatemala, México, Puerto Rico, Venezuela, EE.UU
<i>C. galapagoense</i> A.T.Hunz.	Silvestre	Islas Galápagos, Ecuador
<i>C. pratermissum</i> Heiser & Smith	Silvestre	Sur de Brasil
<i>C. buforum</i> Hunz.	Silvestre	Brasil

El color de la flor no es un carácter distintivo estricto ya que algunas accesiones pueden presentar variaciones. Entre las 20 especies adicionales consideradas silvestres hay algunas que pueden relacionarse con alguno de los tres complejos mencionados anteriormente (**Tabla 3**), sin embargo la estructuración del género *Capsicum* requiere más estudios. A continuación se describen con detalle las cinco especies cultivadas, todas ellas diploides con 24 cromosomas.

✦ *C. pubescens*

Se conoce comúnmente como ají rocoto, locoto, chile de cera, chile manzano, morrongo o perón, su cultivo es característico únicamente de la región andina (DeWitt & Bosland, 1996; Rodríguez-Burruezo & Nuez, 2006). Es morfológicamente diferente a los otros pimientos domesticados como puede apreciarse en la **figura 4**. Las flores son solitarias en cada nudo, con pedicelos erectos en el momento de antesis, se encuentran además inclinadas y son de color púrpura, ocasionalmente con márgenes blancos. El

cáliz no presenta constricción anular cuando los frutos están maduros. El fruto tiene una carne firme y sus semillas son de color oscuro.



Figura 4. Foto de la flor púrpura y frutos con semillas negras, caracteres propios de *C. pubescens*.

☞ *C. annuum* (*C. annuum* var. *annuum*)

Es la especie de pimiento por excelencia, con una amplia representación en el globo y una gran diversidad varietal, presente sobretudo en España y Europa (Rodríguez-Burruezo & Nuez, 2006). Sus caracteres botánicos consisten en flores solitarias en cada nudo con pétalos rectos y blancos, el cáliz de los frutos carece de construcción anular, a veces puede ser rugoso. La carne del fruto es normalmente firme y sus semillas son de color paja.



Figura 5. Foto de la flor típica de *C. annuum* así como de la gran variabilidad de frutos en cuanto a forma y color.

☞ *C. baccatum* (*C. baccatum* var. *pendulum*)

La forma varietal más conocida de esta especie son de tipo guindilla, alargadas y más o menos gruesas con longitud variable, también cultivadas ampliamente (DeWitt & Bosland, 1996). Sus flores también son solitarias en cada nudo, con una corola blanca-verdosa y manchas amarillas. Sus pedicelos son erectos, el cáliz de sus frutos no presenta constricción anular, tienen carne firme y semillas de color paja. La mayoría de variedades son pungentes pero también las hay dulces.



Figura 6. Detalle de las flores blancas-verdosas con manchas amarillentas y las formas varietales más conocidas.

☞ *C. chinense*

Es una especie muy extendida en el Caribe y el Yucatán, los más conocidos son los “chiles habaneros” (Csilléry, 2006). A diferencia de las otras especies, ésta tiene dos o más flores por nudo (aunque en ocasiones las hay solitarias) con una corola blanco-verdosa (a veces púrpura) pero sin manchas. El cáliz de los frutos maduros presenta generalmente constricción anular, su carne es firme y las semillas en su interior son también de color paja.



Figura 7. Flor de *C. chinense*, detalle de la constricción anular que presentan los frutos y distintos tipos de frutos.

☞ *C. frutescens*

De gran importancia en el mercado asiático y sudamericano, es el pimiento usado para procesado y obtención del conocido tabasco (DeWitt & Bosland, 1996; Castañón-Nájera *et al.*, 2010). Sus flores son solitarias en cada nudo, a veces fasciculadas, que suelen estar tumbadas. La corola es blanca-verdosa y el cáliz de los frutos maduros no tiene constricción anular, aunque pueda presentar rugosidad. Su carne a diferencia de los demás tipos de pimiento es blanda, sus semillas son también de color paja.



Figura 8. Flores típicas de *C. frutescens*, crecimiento erecto que presentan los frutos y forma de los frutos característica.

1.6 Calidad del fruto y objetivos de mejora: compuestos bioactivos

Establecer un ideotipo de referencia que debemos alcanzar mediante la mejora es un paso complejo en cualquier especie y el pimiento, así como otras especies de su género, no es una excepción. Existen varios parámetros que definen la calidad y que por tanto hay que tener en cuenta en el proceso de mejora. Además de esto habrá que tener en cuenta la aplicación culinaria que tendrá al final del proceso; si se usa para consumo en fresco será indispensable su calidad organoléptica, valor nutritivo y su calidad externa, mientras que si va a usarse como especia nos interesará más su pungencia y su capacidad colorante (Rodríguez-Burruezo & Nuez, 2006). Por ello vamos a diferenciar y describir los objetivos generales para con la calidad interna y la calidad externa de pimiento.

1.6.1 Calidad externa

Como ya se ha dicho anteriormente, el género *Capsicum* presenta una gran diversidad de formas, tamaños y colores de fruto, atendiendo a la región y climatología a la que pertenecen (Nuez *et al.*, 2003). La apariencia del fruto es siempre un carácter importante para llamar la atención del consumidor y establecer una señal de identidad de una variedad concreta.

De manera general el mercado centra sus preferencias en los pimientos cortos del tipo California en todo su rango de coloraciones: verde (Alemania y Dinamarca), rojo (Francia y Suecia), Amarillo (Italia) e incluso naranjas. También hay preferencia por los tipos locales o tradicionales como Bierzo, Najerano, Valenciano y los pimientos pequeños tipo Piquillo y Guindilla (Namesny, 2006).

1.6.2 Calidad interna

La calidad interna de un fruto puede subdividirse en dos categorías: la calidad organoléptica o sensorial y la calidad nutricional. La calidad organoléptica se refiere al conjunto de estímulos que interactúan con los receptores de un analizador, es decir, con los órganos de los sentidos que producen mediante un proceso nervioso diferentes sensaciones como pueden ser textura, aroma, sabor, temperatura, etc. En el caso de los pimientos la calidad organoléptica viene definida por su pungencia, su sabor y su aroma.

La pungencia es la sensación de ardor que caracteriza algunas variedades del género *Capsicum*, viene dada por los capsaicinoides. Estos hacen que el cerebro libere endorfinas para atenuar la irritación y por ello causa bienestar en algunas personas (Bosland & Votava, 2000). El sabor viene dado en gran parte por el contenido en azúcares, sobretodo la glucosa que supone el 90-98% del contenido en azúcares en frutos rojos maduros, luego encontramos la sacarosa. Otros ácidos participan también en su sabor aunque en menor concentración como el ácido málico, el oxálico y el cítrico. Por último está el aroma, un factor de gran relevancia y que afecta a la percepción gustativa de los alimentos. El aroma que desprenden los frutos es causado por la fracción volátil de éstos; los compuestos volátiles son aquellos que se convierten fácilmente en vapores o gases de los cuales se han determinado más de 300, llegando a un amplio espectro de posibilidades y combinaciones para producir distintos efectos (Rodríguez-Burruezo *et al.*, 2010).

La calidad nutricional es la capacidad de los alimentos de proporcionar los elementos necesarios para una buena salud. Estos nutrientes pueden dividirse en macronutrientes (proteínas, carbohidratos y lípidos) y micronutrientes (vitaminas, minerales, ácidos grasos y aminoácidos esenciales). El pimiento es relativamente pobre en macronutrientes; predominan los azúcares reductores, pentosas y fibra dietética. Sin embargo sí es rico por el valor nutracéutico de sus micronutrientes, es decir que proporcionan beneficios para la salud en términos de prevención y/o tratamiento de enfermedades (Kalra, 2003). Estos micronutrientes que son beneficiosos para la salud se denominan compuestos bioactivos. A continuación se describirán los compuestos bioactivos más importantes en pimiento:

- Vitaminas

El pimiento es una fuente importante de vitaminas A, C, B₁, B₂, B₃, B₆ y E y/o precursores de las mismas. Cabe destacar las vitaminas A, C y E por su gran aporte y relevancia para el organismo (Rodríguez & Nuez, 2006).

La vitamina A también llamada retinol o axeroftol, no está presente directamente en los vegetales pero sí encontramos provitaminas o precursores carotenoides de la ésta vitamina, como son el β -caroteno, α -caroteno, γ -caroteno y la β -criptoxantina (Nuez *et al*, 2003). De entre todos los que puede contener un pimiento, el β -caroteno puede presentar hasta el 90% del aporte, siendo un carácter beneficioso debido a que es el precursor más efectivo. En 100 gramos de pimiento podemos satisfacer un 25-40% de la dosis diaria, evitando la carencia de esta vitamina que puede producir efectos adversos la xerofltalmia (proceso degenerativo del globo ocular que puede acabar con ceguera), infecciones agudas, mortalidad infantil, afecciones epiteliales y algunos tipos de cáncer (Latham, 2002).

La vitamina C o ácido ascórbico es esencial para evitar el escorbuto (enfermedad que provoca hemorragias frecuentes en las encías e incluso la muerte), está presente mayoritariamente en forma de L-ascórbico. Es también un potente antioxidante, motivo por el cual es un factor tan importante para el pimiento, ya que encontramos en ellos un contenido elevado que alcanza su máximo en pleno estado de madurez (Bosland & Votava, 2000). Debido a su naturaleza hidrófila encontramos niveles muy bajos o inapreciables de ácido ascórbico en frutos deshidratados o derivados como el pimentón.

La vitamina E es también un potente antioxidante, ya que limita la oxidación y neutraliza los radicales libres nocivos evitando patologías como la arteriosclerosis o el cáncer (Latham, 2002). En pimiento está en forma de α -tocoferol en el pericarpo y γ -tocoferol en las semillas.

- Polifenoles

Los polifenoles son compuestos ampliamente distribuidos en los vegetales, son metabolitos secundarios que realizan gran variedad de funciones dentro de las plantas, incluyendo defensa contra plagas, contra estreses y otros caracteres como sabor, aroma y color de los frutos (Espín de Gea & Tomás-Barberán, 2006).

Numerosas investigaciones han demostrado su poder antioxidante, protegiendo al organismo de radicales libres y derivados del metabolismo natural de las células

aeróbicas (Bors *et al.*, 1996; Halliwell, 1996). Siendo por tanto beneficiosos para prevenir el cáncer, enfermedades cardiovasculares y desórdenes neurodegenerativos (Harborne & Williams, 2000; Ferrari & Torres, 2003; Holloman & Katan, 1999). Se agrupan en seis familias: antocianos, flavanoles, flavonoles, flavanonas, flavonas e isoflavonas. En pimiento son importantes la quercetina (flavonol) y la luteolina (flavona).

- Pigmentos carotenoides

Los pigmentos que dan color a los frutos del género *Capsicum* están dentro del grupo de los carotenoides, también pueden encontrarse en hojas, raíces y frutos (Nuez *et al.*, 2003). Además de ser útiles como colorantes alimentarios, tienen efectos positivos para la salud ya que actúan como antioxidantes, precursores de vitaminas o agentes antitumorales (Wall *et al.*, 2001). En pimiento destacan la capsantina, el β -caroteno, la luteína y la zeaxantina. La capsantina se encuentra presente sobre todo en los frutos rojos, siendo un potente antioxidante. El β -caroteno es un importante precursor de la vitamina A, la luteína reduce el riesgo de enfermedades coronarias y la zeaxantina ofrece protección ocular contra la radiación solar (Lee *et al.*, 2005). Salvo por la luteína y bajos niveles de β -caroteno, los niveles de carotenoides en frutos inmaduros es muy bajo, aumentando con la madurez.

1.7 Cultivo ecológico

1.7.1 Generalidades del cultivo ecológico

Según la Organización de las Naciones Unidas (FAO, 1999), es el proceso de producción de alimentos con medios naturales sin la necesidad de añadir compuestos de síntesis. Por consiguiente, es un modelo de cultivo sostenible para la producción que intenta, mediante el no uso de químicos de síntesis, evitar la contaminación por el uso de éstos, respetar los ciclos biológicos del sistema de producción, disminuir la erosión del suelo, mantener e incluso aumentar la fertilidad del suelo. Esto contribuye a mantener la diversidad genética y minimizando el impacto social y ecológico que puede ocasionar el cultivo y producción de alimentos suficientes para abastecer a la humanidad y que sean de buena calidad (IFOAM, 1998).

Esta práctica ha aumentado durante los últimos años debido a la concienciación en gran parte de la sociedad así como de los consumidores, los cuales valoran la utilización sensata de los recursos naturales. La razón de este cambio de mentalidad radica la limitación por parte de los recursos naturales en cuanto a su recuperación posterior a

un mal uso, empobreciendo las tierras de cultivo e incluso haciéndolas inservibles y por tanto perdiendo valor. Este tipo de agricultura además enriquece el valor de los productos asociados a sus sistemas, realzando la función del agricultor el cual aporta todos estos beneficios públicos (Stopes *et al.*, 2010; SEAE, 2013).

En los últimos años ha habido una clara tendencia hacia los productos ecológicos; en comparación al 1999 el terreno dedicado al cultivo ecológico se ha cuadruplicado (Willer & Yussefi, 2000). En 2013 el área de tierras de cultivo ecológico aumentó en todas las regiones exceptuando América Latina (FIBL-IFOAM, 2016). En Europa se ha pasado de 6,8 millones de hectáreas en 2005 a 11,5 millones de hectáreas en el 2013, de las cuales 10,5 millones pertenecen a la UE, con más de 330.000 productores (260.000 de la UE) (**Fig. 9**). Todo esto ha sido gracias al apoyo por parte del consumidor concienciado como de las instituciones públicas, que han contribuido al presente desarrollo de la agricultura ecológica mediante programas y legislaciones que apoyan esta iniciativa. Esta extensión representa el 2,4% del territorio europeo (5,7% en la UE). A nivel mundial Europa representa el 27% de la superficie ecológica cultivada, encabezando la lista de países con más superficie ecológica están España, Italia, Francia y Alemania (**Fig. 10**). En el 2013 el mercado europeo para este cultivo llegó a los 24,26 millones de euros (22,22 en la UE).

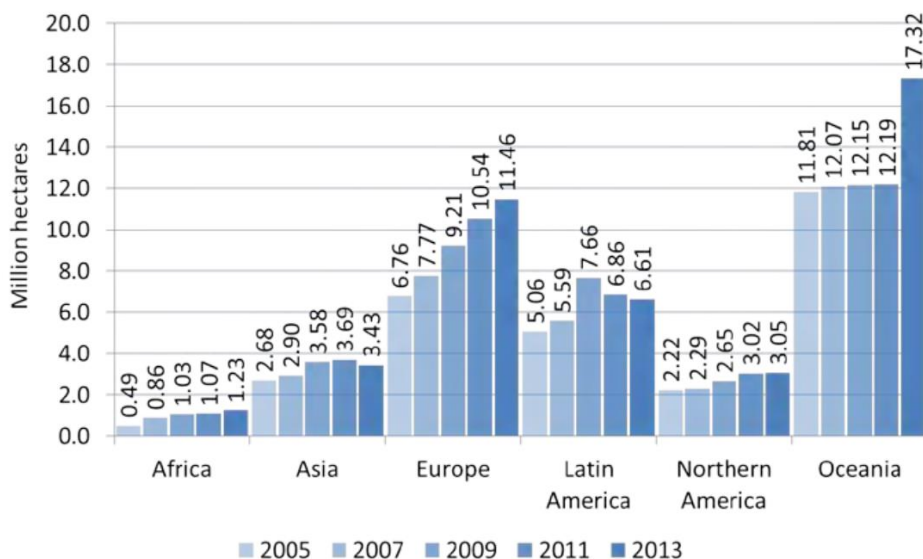


Figura 9. Evolución por continentes del área (millones de hectáreas) dedicada a la agricultura ecológica 2005-2013 (FIBL-IFOAM, 2016).

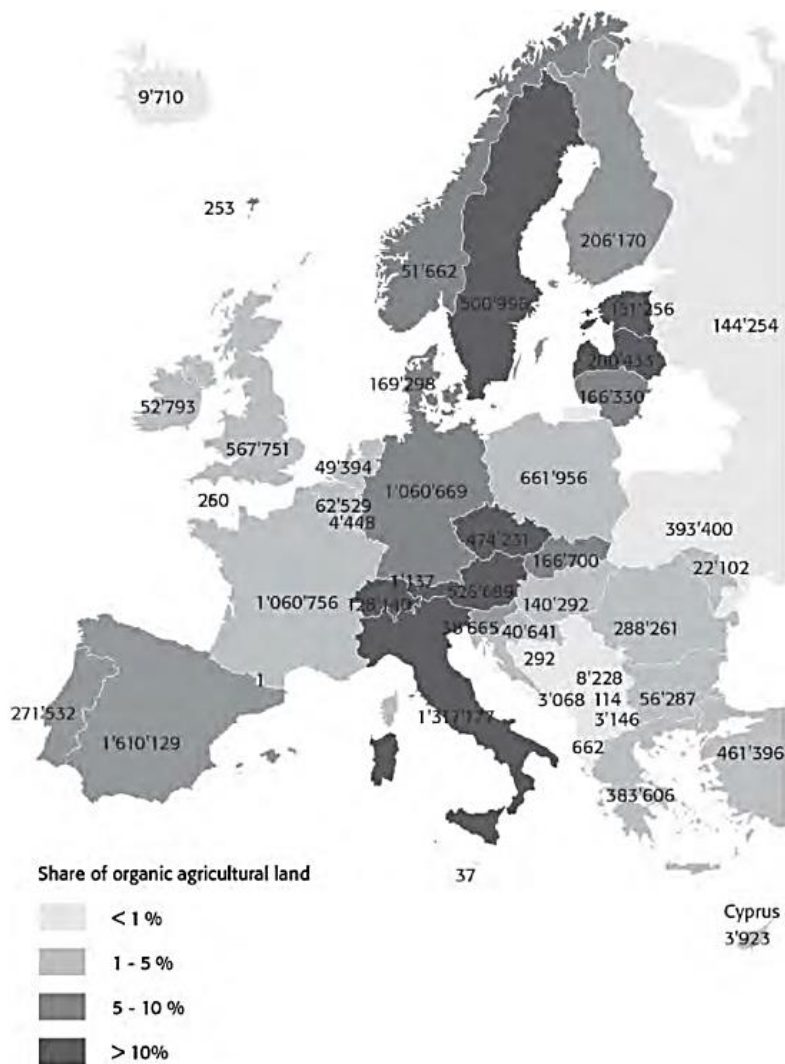


Figura 10. Superficie europea en hectáreas dedicadas al cultivo ecológico en 2013 (FIBL, 2015).

La producción ecológica en España es diversa y presente en todas las comunidades autónomas, adaptándose a las condiciones específicas de cada una de ellas. Tanto el número de operadores como la superficie han ido aumentando al largo de los años según los datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2016). Concretamente se ha pasado de tener 23.473 operadores y 1.317.752 ha, a 33.704 operadores y 1.610.129 ha en 2013.

1.7.2 Principales características de la agricultura ecológica

La agricultura ecológica no solo tiene como objetivo producir alimentos con calidad nutritiva sino también en suficiente cantidad para abastecer las demandas del mercado. Además persigue un alto nivel de exigencia para con la calidad del entorno, los

materiales producidos y el ambiente relacionado con éstos. Por ello, para el mantenimiento de la fertilidad y actividad biológica del suelo se realizan las siguientes prácticas:

- Cultivo de leguminosas, abono verde o plantas de enraizamiento profundo, con un programa de rotación plurianual adecuado
- Utilización de estiércol procedente de ganadería ecológica, con un máximo de 170 kg de nitrógeno por hectárea y año
- Incorporación de cualquier otro material orgánico, procedente de explotaciones ecológicas según las normas establecidas
- Tratamiento del suelo o activación del compost con microorganismos no OGM o con preparados biodinámicos

Los fertilizantes de origen orgánico que están permitidos en este tipo de cultivo son estiércol, excrementos líquidos de animales, residuos domésticos compostados o fermentados, turba, arcillas, el mantillo procedente del cultivo de setas, deyecciones de lombrices e insectos, productos o subproductos de origen animal o vegetal, algas y productos de algas así como serrín o virutas de madera entre otros.

Para los fertilizantes de origen mineral están permitidas las rocas en bruto que no hayan pasado tratamientos químicos para aumentar su solubilidad. Las que son demasiado solubles como la urea no están permitidas. Los que se usan entre otros son fosfato natural blando, sal potásica en bruto, sulfato de potasio con sal de magnesio, carbonato de calcio de origen natural, sulfato de magnesio, sulfato de calcio, cal industrial procedente de la producción de azúcar, azufre elemental o cloruro de sodio.

Gracias a la no utilización de abonos de síntesis química, sobre todo los nitrogenados, se evita que la planta padezca enfermedades o plagas, debido a que éstos interfieren en el metabolismo de la misma, acumulando menos agua y siendo por tanto menos susceptible de sufrir plagas o enfermedades. En los cultivos convencionales, además de ocurrir lo contrario, tienen menos materia orgánica, causando la aparición y desarrollo de nematodos y hongos patógenos. En la agricultura ecológica se usan las siguientes prácticas para evitar o combatir las posibles plagas, enfermedades o malas hierbas:

- Selección de variedades y especies adaptadas a la zona y caso particular
- Programa de rotación de especies adecuado
- Medios mecánicos de cultivo

- Protección de los enemigos naturales mediante estrategias que los favorezcan.

Si estas medidas no evitan ni frenan la plaga o enfermedad es posible el uso de productos fitosanitarios, previamente autorizados y que se disponen en el Anexo II-B del Reglamento (CEE) 2092/91, respetando el medioambiente y la salud. Algunos ejemplos de insecticidas autorizados son azadiractina extraída de *Azadiracta indica* o microorganismos (bacterias, virus y hongos) p. e. *Bacillus thuringiensis*. Otros ejemplos de fungicidas autorizados son el sulfuro de cal, la harina de cuarzo o la cera de abejas.

1.7.3 El papel de las variedades tradicionales en el cultivo ecológico

A lo largo de los años los agricultores han ido seleccionando directa o indirectamente el material vegetal que ha ido adaptándose a unas condiciones agroclimáticas concretas. Este proceso ha generado los ecotipos y variedades locales, abarcando un *pool* genético que las variedades modernas no tienen. A su vez es ventajoso para encontrar variedades adaptables al cultivo ecológico que serán más sostenibles y similares a las del cultivo tradicional, al contrario que las del convencional que son empleadas para la producción forzada y promueven la erosión genética, ya que reducen la agrobiodiversidad. Las variedades tradicionales representan mayor parte de la agrobiodiversidad y ofrecen la posibilidad de mejorar los materiales producidos en términos nutricionales y/u organolépticos.

1.7.4 Influencia del cultivo ecológico en la calidad del fruto

La calidad de un fruto puede venir dada por su calidad externa o interna como hemos descrito anteriormente. La primera no se tiene en cuenta, como las variedades usadas para el cultivo ecológico no han sido mejoradas para este aspecto, solo se espera en las empleadas en el cultivo convencional, ya que se ha hecho selección a lo largo de los años para este carácter.

Para la calidad interna podemos distinguir también dos tipos: la organoléptica o sensorial y la nutricional. Referente a la primera podemos remarcar que la textura de las hojas mejoraba en el cultivo ecológico por menor aporte de nitratos. En cuanto a la

calidad nutricional no hay un consenso global, sin embargo existen estudios donde al parecer los alimentos ecológicos presentaron mayor cantidad de algunos componentes como por ejemplo vitamina C (Schuphan, 1974; Davis *et al.*, 2004; Borguini, 2006; Chassy *et al.*, 2006), fósforo (Weibel *et al.*, 1999), calcio, potasio, hierro, riboflavin, proteínas (Davis *et al.*, 2004) y compuestos fenólicos (Asami *et al.*, 2003) comparándolos con frutos de la misma especie cultivados de manera convencional.

Los estudios sobre el efecto del cultivo ecológico en pimiento son escasos, este hecho ofrece muchas posibilidades para empezar líneas de investigación que pueden ser de gran interés y utilidad. En las pocas investigaciones de pimiento existentes podemos comprobar que se hallaron mayores niveles de polifenoles, peroxidasas y capsidiol en pimientos ecológicos comparados con convencional (Del Amor *et al.*, 2008), que tuvieron menores niveles de nitratos (López *et al.*, 2012) y que produce un aumento de los compuestos antioxidantes como carotenoides, fenoles y vitamina C en las variedades Roberta, Spartacus y Berceo (Hallman *et al.*, 2012). Todos estos estudios han hecho uso de variedades modernas F₁, es decir, con poca diversidad genética, si exploráramos la diversidad que contienen las variedades tradicionales se abriría un amplio abanico de posibilidades, además de la oportunidad de explotar la interacción genotipo-ambiente permitiéndonos seleccionar los materiales con mejor respuesta al cultivo ecológico de manera local.

2. OBJETIVOS

La meta que persigue este trabajo es la obtención materiales específicos para la producción ecológica que sean de alto rendimiento y calidad nutricional. Este tipo de explotaciones carece de ellos y ante la creciente demanda y popularidad adquirida en los últimos años por el cultivo ecológico, así como el apoyo de instituciones públicas nacionales y europeas, es cada vez más necesario desarrollar variedades adaptadas a este tipo de cultivo.

Los objetivos de este trabajo y como primera aproximación para lograr este cometido, se basan en la evaluación de una amplia gama de accesiones de pimientos procedentes de diferentes partes de España, otros países y del Banco de Germoplasma del COMAV, cultivados en condiciones de cultivo convencional y ecológico, donde se ha analizado, en estado inmaduro y maduro, las siguientes características:

- La contribución del efecto variedad, estado de madurez y sistema de cultivo, así como las interacciones posibles entre estos, sobre la variación en compuestos dos compuestos bioactivos: el ácido ascórbico y los fenoles totales.
- El efecto del estadio de madurez en los niveles de estos dos compuestos, tanto a nivel global como por variedad.
- El efecto del sistema de cultivo en ambos estadios de madurez sobre los niveles de compuestos bioactivos de manera global y por variedad.
- Analizar la interacción genotipo×sistema de cultivo para cada variedad para establecer cuáles de ellas se ven más favorecidas, ya sea en cultivo ecológico o en convencional y en los dos estadios de madurez, para así poder usar esta interacción a nuestro favor, de igual forma se hará con las variedades más estables respecto a los dos sistemas, ya que pueden ser potencialmente útiles para ambos.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Material vegetal

En este trabajo se han evaluado 31 accesiones de *C. annuum*, dentro de estas encontramos en gran parte de variedades locales españolas, incluyendo algunas usadas en Denominaciones de Origen e Indicaciones Geográficas Protegidas (DOPs e IGP), variedades de otros países y accesiones pertenecientes al Banco de Germoplasma del COMAV (**Tabla 3**).

Tabla 3. *Accesiones evaluadas en este estudio y sus respectivos códigos, nombres locales y procedencia.*

Código	Nombre local	Procedencia		
		Localidad	Provincia	Región/País
Ancho	Chile ancho/Poblano	-	-	México
BGV-60	Chato ancho	Ezkerekotxa;Iruraiz-Gauna	Alava	Euskadi
BGV-637	Pimiento cuatro cascós	Cogollos de la Vega	Granada	Andalucía
BGV-1844	Morro de vedella	-	Barcelona	Cataluña
BGV-4335	Morrón de conserva	Alhama de Murcia	Murcia	Murcia
BGV-5126	Valenciano	Muchamiel	Alicante	Comunidad Valenciana
BGV-10451	Pimiento najerano gordo	Tricio	La Rioja	La Rioja
BGV-10582	Pimiento valenciano	Cullera	Valencia	Comunidad Valenciana
BGV-10946	Morrón de cuatro picos	Forcinas: Pravia	Asturias	Asturias
BGV-11751	Pimiento gordo morro de vaca	Escuer; Biescas	Huesca	Aragón
BGV-13636	Pimiento gordo	Peromingo	Salamanca	Castilla y León
Bierzo (IGP)	Pimiento del Bierzo	IGP Pimiento Asado del Bierzo, Ponferrada	León	Castilla y León
Bol-58	Ají	-	Santa Cruz	Bolivia
Bola (DOP)	Pimiento de Bola	DOP Pimentón de Murcia	Murcia	Región de Murcia
Cuneo	Cuneo Giallo	Cuneo	Piamonte	Italia
Disenise (IGP)	Pimientos di Disenise	Potenza/Matera	Potenza/Matera	Italia
Doux Long	Doux Long des Landes	INRA Monfavet	Avignon	Francia
ECU-994	Ají	Loja	Loja	Ecuador
Espelette (DOP)	Piment d'Espelette	IGP Espelette	Pirineos Atlánticos	Francia
Guernika	Pimiento Gernika	NEIKER, Bilbao	Guipúzcoa	Euskadi

Guindilla Ibarra	Guindilla de Ibarra	Ibarra	Guipúzcoa	Euskadi
Infante	Pimiento Infante	Semillas Ramiro Arnedo	-	La Rioja
Jalapeño M	Jalapeño M	Reimer Seeds	Nuevo México/Texas	EEUU
Mojo Palmero	Mojo palmero	Reserva Biosfera de La Palma	Las Palmas	Canarias
Najerano	Pimiento najerano	Semillas Ramiro Arnedo	-	La Rioja
Numex Big Jim	Numex Big Jim	Las Cruces (NMSU)	Nuevo México	EEUU
Padrón	Pimiento de Padrón	San Francisco de Herbón	La Coruña	Galicia
Pasilla	Chile pasilla	-	-	México
Piquillo (DOP)	Pimiento del piquillo	DOP Piquillo de Lodosa	Navarra	Navarra
Serrano	Chile Serrano	Reimer Seeds	-	México
Tendre de Chateurenard	Tendre de Chateurenard	INRA Monfavet	Côte d'Azur	Francia

3.2 Condiciones de cultivo

En primer lugar, se sembraron las semillas de cada una de las variedades en el mes de Febrero de 2015. Esta siembra se realizó en alveolos de 2x2 cm que habían sido rellenados previamente con sustrato con proporción 80:20 de tierra enriquecida y perlita. Esta tarea se llevó a cabo en el laboratorio del COMAV, donde permanecieron a una temperatura constante de 24°C.

Las parcelas donde se llevaron a cabo los ensayos, adscritas a la *Unió de Llauradors*, están a situadas entre los términos municipales de Sagunto y Puzol, en la provincia de Valencia. La parcela donde se realizó el cultivo convencional se encuentra cercana a la carretera V-23, mientras que la parcela usada para el cultivo ecológico se encuentra ubicada en la zona contigua al Marjal del Moro, al lado del Centro de Educación Ambiental de la Comunidad Valenciana (**Fig. 11**). La distancia entre las dos parcelas es de 2 km, así que las condiciones agroclimáticas fueron bastante similares, al encontrarse en la misma área. Sin embargo, en el tipo de suelo hubo diferencias respecto al contenido en arcillas, siendo mayor en la parcela ecológica que en la convencional.

En la parcela de cultivo ecológico hubo un abonado con estiércol de oveja de ganadería ecológica certificada a razón de 2 kg/m², el protocolo de aplicaciones fitosanitarias incluye, aunque no fuera necesario en este caso, aplicación de *Bacillus* ante poblaciones excesivas de plagas y/o aplicación de abonos foliares en caso de carencias de ácido húmico. En el caso de la parcela de cultivo convencional se aplicaron

tres fertilizantes, triple 15 (15% de nitrógeno, 15% de fósforo y 15% de potasio), nitrato cálcico 27% y quelato de hierro. Los fitosanitarios aplicados fueron oxicloriguro de cobre (fungicida) 25%, clorpirifos del 48% (insecticida) y metil/clorpirifos (insecticida acaricida).

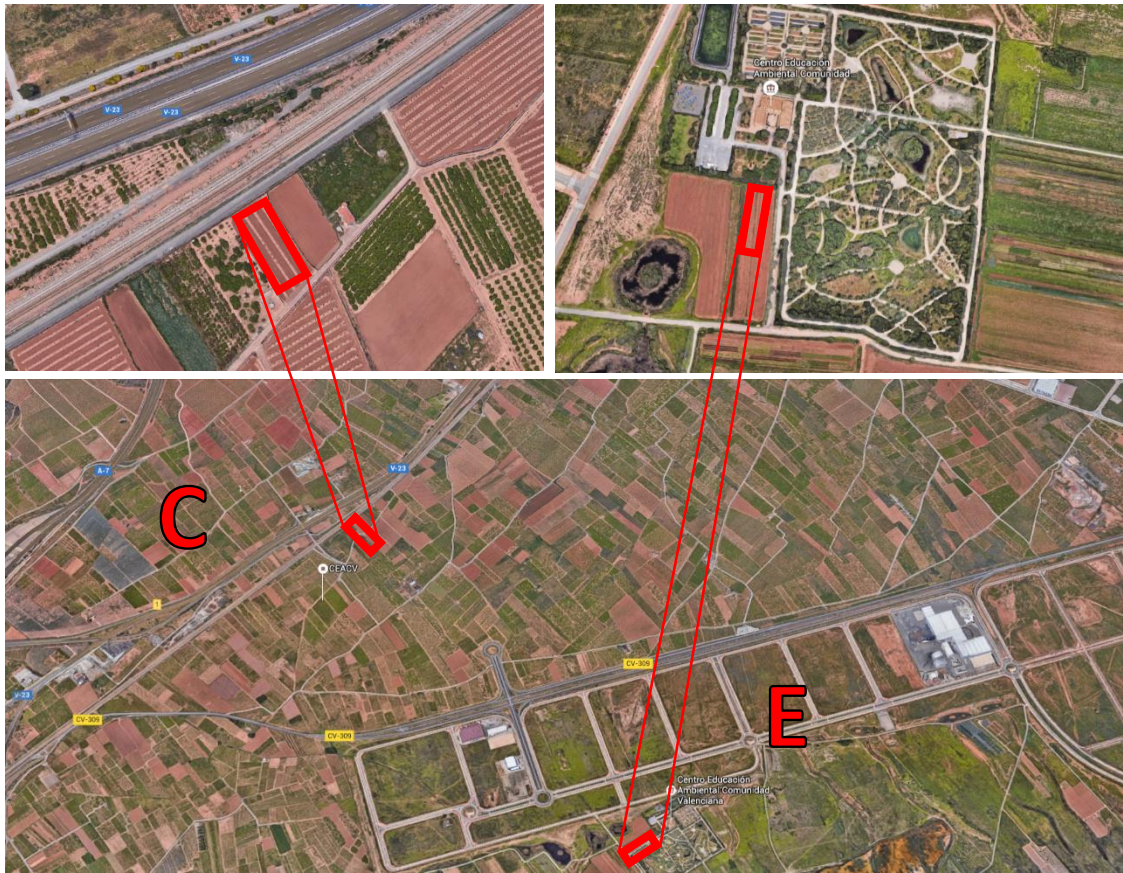


Figura 11. Localización geográfica de las parcelas entre los municipios de Puzol y Sagunto (Valencia). A la izquierda (C) la parcela de cultivo convencional ($39^{\circ}38'37.8''N$ $0^{\circ}17'08.5''W$) y a la derecha (E) la parcela de cultivo ecológico ($39^{\circ}37'55.0''N$ $0^{\circ}16'01.3''W$)



Figura 12. Fotografías tomadas en las parcelas donde se realizó en el ensayo, a la izquierda la parcela de cultivo ecológico y a la derecha la parcela de cultivo convencional.

El trasplante a las parcelas tuvo lugar a mediados de Abril del mismo año, una vez las plantas habían adquirido un tamaño y vigor considerable, esto se midió por el número de hojas verdaderas. Cuando alcanzaron de 5 a 6 hojas verdaderas se consideró que

estaban preparadas para llevarse a campo sin riesgo a sufrir heladas u otro estrés ambiental. Previamente los campos se habían labrado y se levantaron caballones. El marco de plantación para ambas parcelas fue de 1 metro entre filas y 0,5 metros entre las plantas de la misma. Se empleó a manta con frecuencia semanal para ambas parcelas, distribuida por el sistema de acequias de la zona.

3.3 Diseño experimental y análisis estadístico

Para ambas parcelas se usó un modelo de distribución al azar para las variedades; cada variedad estaba representada por diez plantas, separadas en dos bloques de cinco plantas cada uno (310 plantas en total para cada sistema de cultivo), estos bloques fueron repartidos aleatoriamente en la parcela correspondiente para evitar el efecto de posición en el ensayo. De esta manera se intentó compensar la variación que pueda haber dependiendo de la situación de la planta mediante la distribución aleatoria, haciendo que el efecto de unas supla las otras y la influencia ambiental sea la misma de manera general.

Respecto a la obtención de muestras se cogieron frutos de todas las plantas del mismo bloque y variedad, posteriormente se harían los análisis de ácido ascórbico y compuestos fenólicos con estas muestras. Como se ha detallado anteriormente, estos análisis se realizaron para los dos estados de madurez del cultivo, inmaduro y maduro. Al trabajar con entradas de distinta procedencia la variabilidad para el cuajado, desarrollo y maduración de los frutos fue notable, de manera que la recogida se adaptó a la disponibilidad de las muestras, realizándose cosechas semanales en función de estos patrones desde finales de Junio hasta mediados de Noviembre.

Una vez en el laboratorio se separó cada muestra en dos submuestras: una de fruto fresco para el análisis del ácido ascórbico y otra para liofilizar y conservar hasta el momento de medir los compuestos fenólicos. Cada submuestra debía contener al menos 15 gramos de fruto fresco. Previamente a la separación se fotografió el material, se verificó su estado sanitario, se anotó cualquier tipo de incidencia o patogénesis y se obtuvo el peso fresco.

Los datos obtenidos del análisis de compuestos bioactivos se procesaron mediante el programa estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI.I, realizando con el susodicho los análisis de la varianza (ANOVA) de los factores principales como son la variedad, sistema de cultivo y estado de madurez, así como las interacciones entre estos,

determinando si hay diferencias estadísticamente significativas entre las variedades ensayadas.

3.4 Análisis de compuestos bioactivos

3.4.1 Contenido en ácido ascórbico (CAA)

El análisis del contenido de ácido ascórbico o vitamina C se basa en la reducción del ácido molibdofosfórico a fosfomolibdeno, pasando de amarillo a azul gracias al ácido ascórbico. De esta manera se puede determinar reflectómicamente la cantidad de este compuesto según este proceso. El equipo que se usó fue un reflectómetro portátil modelo RQflex plus de la marca Merck así como tiras de test para ácido ascórbico de la misma marca (Reflectoquant de 25-450 mg/L) (**Fig. 13**).

Para poder realizar esta medición se necesita un extracto acuoso de las muestras. El material usado para obtenerlo fue una balanza, una batidora doméstica, un filtro de malla, un embudo y un matraz de 100 mL. El procedimiento consistió en pesar aproximadamente 15 g de fruto mediante la balanza de precisión y homogenizar esta cantidad mediante la batidora y la adición de agua destilada. Tras este paso, la muestra se pasaba por la malla para filtrar las pequeñas partículas que podrían permanecer en la solución intentando recuperar el mayor volumen de zumo posible. Para ello el filtro se colocaba encima del embudo y éste dentro del matraz, que se enrasaba hasta 60 mL para las muestras de fruto inmaduro y hasta 100 mL para las de fruto maduro. Esto es debido a que los frutos maduros tienen mayor contenido en ácido ascórbico, evitando así errores de lectura por parte del reflectómetro.



Figura 13. Reflectómetro portátil RQflex plus de Merck y test de ácido ascórbico usado.

Una vez obtenido el zumo diluido es necesario sumergir una de las tiras test en la solución durante 2 segundos, asegurándonos de que el extremo se encuentra totalmente dentro. Al cabo de los dos segundos se extrae la tira y se escurre el exceso de muestra, inmediatamente después se introduce la tira con la zona reactiva en dirección a la pantalla, se cierra y se obtiene el valor de medición en mg/L de ácido ascórbico relativo al volumen total usado.

3.4.2 Contenido en fenoles totales (FT)

Para llevar a cabo este análisis, previamente hubo que liofilizar las muestras para poder conservarlas hasta el momento en que se analizaran los compuestos fenólicos. Por consiguiente se pesaron 15 gramos por muestra, se cortaron en trozos de 1,5 x 1,5 cm y se distribuyeron en pequeñas bandejas de papel de filtro debidamente etiquetadas. En cada bandeja se colocaron 12 muestras que luego se introducían en el liofilizador.

Una vez introducidas las bandejas en el liofilizador el proceso que tiene lugar es el de la extracción del agua de muestras previamente congeladas por sublimación mediante vacío. De esta manera conseguimos evitar que tengan lugar a las reacciones químicas que forma normal se producen y degradan los sustratos. El equipo usado consta de una cámara de desecación, un equipo de vacío, un dispositivo para retener el agua sublimada y varios sistemas de control del proceso. El modelo utilizado fue *Wizard 2.0* de VirTis, la duración de un ciclo era de 22h consistiendo en distintas fases: durante la primera fase se trata todas las muestras con -30°C durante 60 minutos, se mantiene durante 10 minutos más y desciende a -65°C para llegar a la segunda fase, donde ya se realiza el vacío a 300 Torr. En la tercera fase se da un primer secado de las muestras a una temperatura de -30°C durante 5 minutos, seguido de -10°C durante 500 minutos. Aquí es donde se sublima el hielo de la muestra para que en la cuarta fase, donde se da el segundo secado, el aparato alcance los 25°C durante 1.100 minutos para liberar el agua adsorbida por la superficie de las muestras, dejando así la menor cantidad de humedad y garantizando su conservación a largo plazo. El quinto y último paso se basa en mantener las muestras en 25°C durante 1.000 minutos a 100 Torr antes de eliminar el vacío.

La propia técnica de cuantificación de fenoles totales (FT) se basa en la extracción de éstos gracias a una solución compuesta por acetona, ácido acético y agua, una vez extraídos se miden colorimétricamente mediante su absorbancia a 750 nm. El equipo usado para la determinación fue un espectrofotómetro con lector de placas modelo *Bio-*

Rad iMark™ (Microplate reader, Herts, Inglaterra). La curva patrón para la determinación de los fenoles totales en las muestras analizadas se realizó en ensayos anteriores, de manera que ya se disponía de ella previamente.



Figura 14. Fotografía tomada antes de introducir la bandeja con las muestras en el liofilizador

El proceso a seguir es el siguiente: se pesan aproximadamente 0,125 g de liofilizado en un tubo *falcon* de 15 mL y se añaden 5 mL de la solución de extracción, una vez tenemos 32 muestras preparadas procedemos a colocarlas en la noria, donde se mantendrán girando durante 24 horas. Al final de este periodo se recogen los tubos y se centrifugan durante 3 minutos a 3.500 rpm. Una vez hecho esto se recuperan 1,5 mL de la solución, prestando especial atención en obtener el sobrenadante pero no algunos de los restos que puedan flotar, para depositarlos en un *eppendorf* en el cual se almacenará la muestra a -20°C hasta su posterior análisis. Una vez tenemos suficientes muestras para llenar una placa de 96 pocillos se lleva a cabo el proceso final, éste consiste en centrifugar durante 5 minutos a 10.000 rpm las muestras, obtener 65 μ L de cada una de ellas y añadirle 500 μ L del reactivo *Folin-Cicolteu* diluido al 10%, se incuban las muestras a temperatura ambiente durante 5 minutos en oscuridad y se le añaden 500 μ L de solución de carbonato sódico, finalmente incubamos las muestras durante 90 minutos en oscuridad y a temperatura ambiente. Una vez realizado este proceso se agita el contenido de cada *eppendorf* en un vortex y se extraen 200 μ L de cada muestra, llenando la placa de 96 pocillos en la que mediremos la absorbancia a 750 nm mediante el lector de placas.

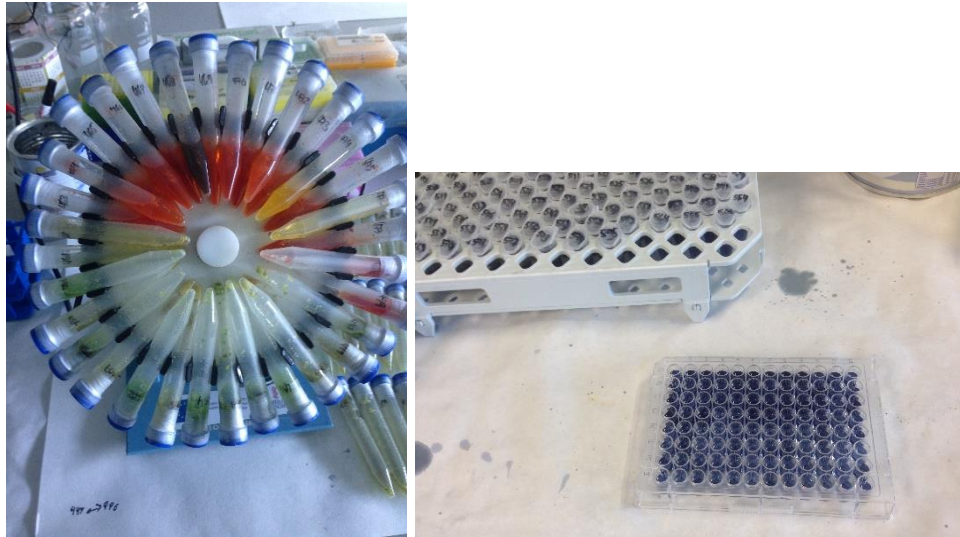


Figura 15. Detalle de las muestras en la noria en la que se mantienen 24h girando (izquierda) y placa de 96 pocillos con muestras preparadas para ser leídas en el espectrofotómetro.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de la varianza general

El análisis ANOVA mostró una contribución significativa de la variedad o entrada, del estado de madurez y de la interacción entre estos para la variación observada en el contenido de ácido ascórbico (CAA). Para el contenido en fenoles totales (FT), el ANOVA mostró una contribución significativa de la variedad o entrada, del sistema de cultivo, del estado de madurez y la interacción entre el sistema de cultivo y el estado de madurez (**Tabla 4**). Esto nos demuestra que en el experimento llevado a cabo hubo diferencias significativas entre las variedades y el estado de madurez para ambos compuestos bioactivos, así como diferencias entre sistemas de cultivo para los fenoles totales. De la misma forma, el efecto significativo de la interacción entrada (G) × estado de madurez (M) para con el contenido en ácido ascórbico nos indicaría que el proceso de maduración afecta de forma o grado distintos sobre las diferentes entradas con las que se ha realizado el ensayo, existiendo diferencias en las transiciones del estado maduro al inmaduro entre entradas. El efecto significativo de la interacción sistema de cultivo (E) × estado de madurez (M) para con el contenido en fenoles totales nos indicaría entonces que el sistema de cultivo puede afectar a la evolución del contenido en fenoles totales con la maduración, de manera que el cambio de estado maduro a inmaduro promedio será distinto entre entradas dependiendo del sistema de cultivo.

Por lo que respecta a los cuadrados medios obtenidos con el ANOVA general podemos observar qué contribución a la variación total realiza cada factor, siendo distintos en todos los casos. Según los valores de los cuadrados medios para CAA y FT, el estado de madurez fue el factor que más contribuyó a la variación observada para ambos compuestos. El segundo factor que mostró mayor contribución a la variación para CAA fue la entrada, seguido de la interacción $G \times M$ y por último encontramos una pequeña contribución por parte de la interacción $G \times E$, el sistema de cultivo y la interacción $E \times M$ (**Tabla 4**). Para FT en cambio, el segundo factor que mostró mayor contribución y por tanto mayor valor para el cuadrado medio, fue el sistema de cultivo seguido de la entrada y en cuarto lugar la interacción $E \times M$. Las interacciones $G \times E$ así como $G \times M$ mostraron poca contribución a la variación para FT (**Tabla 4**).

Tabla 4. ANOVA general para el contenido en ácido ascórbico (CAA) y fenoles totales (FT).

Fuente	CAA		FT	
	g.l. ¹	CM ²	g.l.	CM
Efectos principales				
Entrada (G)	20	6909***	20	12741**
Sistema cultivo (E)	1	65 ^{NS}	1	24265***
Estado de madurez (M)	1	337550***	1	1470240***
Interacciones				
G × E	20	858 ^{NS}	20	1170 ^{NS}
G × M	20	2788***	20	345 ^{NS}
E × M	1	43 ^{NS}	1	10330***
Error	331	589	331	936

¹ Grados de libertad; ² Cuadrado medio.

^{NS} indica no significativo para una probabilidad de $p < 0,05$ mientras que *, **, *** indican significativo para $p < 0,05$, 0,01 y 0,001 respectivamente, en relación al ratio estadístico F.

Gracias a estos resultados podemos afirmar que el estado de madurez es la fuente de variación más importante en el ensayo, predominando de manera clara sobre los demás factores en particular como efecto principal pero también en forma de interacción con la entrada para CAA y con el sistema de cultivo para FT. Esta contribución tan acusada frente a la de los demás factores podría estar sesgando la contribución de éstos últimos a la variación observada. Por este motivo se decidió realizar análisis adicionales de la varianza, separando los resultados de frutos inmaduros de frutos maduros y evitar este potencial sesgo. El análisis mencionado se describirá a continuación tratando de manera separada cada uno de los estados.

De este modo, los ANOVA específicos para CAA y FT para cada estado de madurez por separado mostraron una contribución muy significativa de la entrada o variedad para ambos estados y compuestos, así como la interacción entrada (G) × sistema de cultivo (E) mostró también una gran, aunque menor que el factor entrada, contribución significativa a la variación para ambos estados en el caso de CAA y para estado maduro solamente en el caso de FT. Además el sistema de cultivo también contribuyó significativamente para los FT en ambos estados, siendo proporcionalmente más importante en el estado inmaduro (**Tabla 5**). La entrada o genotipo usado fue el efecto que más contribuyó a la variación en CAA, seguido de la interacción entrada (G) × sistema de cultivo (E). Por lo que respecta a FT, el factor que más contribuyó a la variación fue diferente dependiendo del estado. Así, en estado inmaduro el más importante fue el sistema de cultivo, muy por encima de los valores obtenidos en la entrada y la interacción G×E y. En estado maduro en cambio, el factor que más contribuyó a la variación fue la entrada, seguida en menor medida por el sistema de cultivo y la interacción G×E. Dada la contribución significativa del efecto entrada en la

variación observada en estos compuestos, se planteó la necesidad de realizar un estudio exhaustivo del comportamiento individual de cada una de las entradas a la variación de los resultados obtenidos que muestran una gran heterogeneidad.

Tabla 5. ANOVA específico para el contenido en ácido ascórbico (CAA) y fenoles totales (FT) en cada uno de los estados de madurez.

Fuente	Estado inmaduro				Estado maduro			
	CCA		FT		CCA		FT	
	g.l. ¹	CM ²	g.l.	CM	g.l.	CM	g.l.	CM
Efectos principales								
Entrada (G)	20	2213***	20	5443**	20	7392***	20	27090***
Sistema cultivo (E)	1	94 ^{NS}	1	6336**	1	17 ^{NS}	1	7691*
Interacciones								
G × E	20	1661***	20	583 ^{NS}	20	1165*	20	2832**
Error	163	336	163	488	148	682	148	1252

¹ Grados de libertad; ² Cuadrado medio.

^{NS} indica no significativo para una probabilidad de $p < 0,05$ mientras que *, **, *** indican significativo para $p < 0,05$, 0.01 y 0.001 respectivamente, en relación al ratio estadístico F.

4.2 Estudio descriptivo de la variación en CAA por estados de maduración

Como se ha visto en los análisis de la varianza general, el contenido en ácido ascórbico ha demostrado ser muy variable en los materiales analizados. Primeramente se encontraron diferencias importantes según el estado de madurez en el que se encontraba el fruto, además de esto los niveles en este compuesto también diferían dependiendo de la entrada, mostrando diferencias claras entre ellas que explicaría gran parte de la variabilidad restante. De manera general, todas las variedades han aumentado su CAA conforme se ha desarrollado el cultivo, es decir que los frutos inmaduros y por tanto anteriores, mostraron menores niveles que los frutos maduros y posteriores, efecto que se ha descrito en numerosos estudios con anterioridad (Howard *et al.*, 1994; Martínez *et al.*, 2005; Rodríguez & Nuez, 2006). En los siguientes análisis se explorará el efecto de cada variedad y el sistema de cultivo en cada estado de madurez.

4.2.1 Efecto de la variedad, el sistema de cultivo y su interacción en frutos inmaduros

El contenido en ácido ascórbico en frutos inmaduros mostró una amplia variabilidad según el genotipo observado (**Tabla 5**). Si observamos el comportamiento de los distintos genotipos en cultivo ecológico vemos que los valores están comprendidos entre 13 y 77 mg/100 g de materia fresca en BGV-10582 y Padrón, respectivamente. De la

misma forma, las entradas que destacaron por sus altos valores de CAA fueron, además de Padrón, Numex Big Jim (76 mg/100g), Disenise (69 mg/100 g) y Piquillo (63 mg/100g). Por otra parte, en cultivo convencional el rango de variación estuvo comprendido entre 9 y 74 mg/100 g de materia fresca de Piquillo y Guernika, respectivamente, siendo importantes por su alto nivel en ácido ascórbico la ya mencionada variedad Guernika, Bola (64 mg/100 g), Espellete (62 mg/100 g), y Padrón (61 mg/100 g). Hay que considerar que la ingesta diaria recomendada para este nutriente es de 90 mg para varones y 75 mg para mujeres (NIH, 2016), con lo cual con bastarían 100-150 g de fruto fresco de estas variedades para alcanzar el mínimo recomendado, siempre y cuando se siga una dieta equilibrada.

Respecto al tipo de cultivo podemos observar que la media para el CAA es prácticamente idéntica para ambos, 41,57 mg/100 g para ecológico y 40,19 mg/100 g para convencional, siendo la diferencia menor a 1,5 mg/ 100 g de peso fresco, por esta misma razón no ha sido un factor muy significativo en el ANOVA anteriormente descrito (**Tabla 5**). Para el comportamiento de cada una de las entradas en cada tipo de cultivo en cambio, sí vemos grandes diferencias de valores entre el ecológico y el convencional, confirmando la interacción $G \times E$ obtenida en el mismo ANOVA (**Tabla 5**). Si observamos el coeficiente de regresión β , que nos indica en qué tipo de cultivo se ve más favorecida una variedad, aunque las medias no difieren enormemente y no se aprecia una tendencia, se detectaron 6 entradas favorecidas por el cultivo convencional de manera significativa (β significativa con signo negativo) así como 5 que vieron aumentados sus valores en el cultivo ecológico (β significativa con signo positivo), restando 10 que no mostraron un comportamiento significativamente favorecido por ninguno de los tratamientos (**Tabla 6**).

Cabe destacar pues, que las entradas favorecidas por el sistema de cultivo ecológico fueron, en orden de mayor a menor grado, Piquillo ($\beta=39,49$), Disenise ($\beta=31,28$), Numex Big Jim ($\beta=24,38$), BGV-10946 ($\beta=21,30$) y ECU-994 ($\beta=19,10$), mientras que para cultivo convencional destacaron las entradas BGV-10582 ($\beta=25,90$), Doux Long ($\beta=24,33$), Espellete ($\beta=22,35$), BGV-60($\beta=19,96$) y BGV-13636 ($\beta=19,52$) (**Tabla 6**). Por último, las entradas que mostraron más estabilidad además de unos valores de CAA superiores al promedio de cada uno de los sistemas (41,57 mg/100 g para ecológico y 40,19 mg/100 g para convencional) fueron Guindilla de Ibarra (55 mg y 57 mg respectivamente) y BGV-4335 (53 mg y 50 mg respectivamente) (**Tabla 6**).

Tabla 6. Contenido medio de ácido ascórbico (CAA, en mg/100 g de materia fresca) estimado en frutos inmaduros para cada una de las variedades usadas de pimiento, medido en un sistema de cultivo ecológico y convencional y coeficiente de regresión (β) sobre la media ambiental.

Variedad	CAA (mg/100g materia fresca)			Coeficiente β
	Ecológico	Convencional	Promedio	
BGV-10582	13,54 a ¹	49,24 bc	31,39	-25,90**
BGV-10946	42,62 bcde	13,26 abc	27,94	21,30*
BGV-13636	16,55 a	43,46 cd	30,01	-19,52*
BGV-4335	52,52 def	49,56 abc	51,04	2,15 ^{NS}
BGV-60	31,13 abcde	58,63 a	44,88	-19,96 *
BOL-58	17,48 a	19,47 bc	18,47	-1,44 ^{NS}
Bierzo	28,66 abc	18,33 bc	23,49	7,49 ^{NS}
Bola	48,98 cdef	63,98 cd	56,48	-10,89 ^{NS}
Cuneo	46,68 cdef	57,08 ab	51,88	-7,54 ^{NS}
Disenise	68,93 fgh	25,83 bc	47,38	31,28***
Doux Long	15,83 a	49,36 ef	32,60	-24,33**
ECU-994	54,13 ef	27,81 f	40,97	19,10*
Espellette	30,81 abcde	61,61 e	46,21	-22,35*
Guernika	52,60 ef	73,59 e	63,10	-15,23*
Guindilla Ibarra	54,71 efg	57,10 ef	55,91	-1,74 ^{NS}
Jalapeño M	27,58 abc	26,06 ab	26,82	1,10 ^{NS}
Mojo Palmero	31,06 abcd	12,30 bc	21,68	13,61 ^{NS}
Numex Big Jim	75,79 gh	42,19 bc	58,99	24,38**
Padrón	76,84 h	61,27 de	69,05	11,30 ^{NS}
Piquillo	63,32 fgh	8,90 abc	36,11	39,49***
Serrano	23,28 ab	25,08 ef	24,18	-1,30 ^{NS}
Media sistema	41,57 A	40,19 A	40,88	-
Efecto ambiental	0,69	-0,69	-	-

¹ Las letras que acompañan a cada valor indican diferencias significativas entre variedades del mismo sistema de cultivo, es decir dentro de la misma columna, para $p < 0,05$ (intervalos LSD: least significant difference de Fisher)

^{NS} indica β no significativa para una probabilidad de $p < 0,05$ mientras que *, **, *** indican β significativa para $p < 0,05$, 0.01 y 0.001 respectivamente, en relación al ratio estadístico F.

4.2.2 Efecto de la variedad, el sistema de cultivo y su interacción en frutos maduros

En el caso de los frutos maduros, al igual que pasó con los inmaduros, se observó una gran variabilidad en cuanto al rango de valores obtenido para su contenido en CAA (Tabla 7), aunque a niveles mayores que para inmaduros como se ha descrito anteriormente. En el sistema de cultivo ecológico encontramos un mínimo de 55 mg de ácido ascórbico por 100 g de materia fresca en Jalapeño M hasta un máximo de 167 mg/100 g de Guernika. Las variedades con valores más altos fueron además de Guernika, Espellete (157 mg/100 g), Mojo Palmero (150 mg/100 g), Numex Big Jim (123 mg/100 g) y Doux Long (121 mg/ 100g). En el caso del cultivo convencional los valores estuvieron comprendidos entre 37 y 149 mg/ 100 g de Serrano y Numex Big Jim,

respectivamente. Entre los que más contenido en ácido ascórbico destacaron, además de la variedad Numex Big Jim, Padrón (146 mg/ 100g), BGV-4335 (126 mg/ 100g), Guernika (124 mg/ 100g) y Espellete (124 mg/100 g).

La diferencia entre los promedios para uno y otro sistema aún es más pequeña cuando observamos los frutos inmaduros, siendo menor a 1 mg por 100 mg de peso fresco, teniendo el cultivo ecológico con una media de 101,43 mg/100 g y el cultivo convencional una vez más con un valor ligeramente menor; 100,82 mg/100 g. Por ello, una vez más, el factor sistema de cultivo no fue significativo (**Tabla 5**). Sin embargo, sí fue significativa la interacción $G \times E$, pudiendo comprobar que hay variación de datos obtenidos en un tipo de tratamiento y otro dependiendo de la variedad, pero de manera más ligera que para los frutos inmaduros.

Respecto a la adaptación de cada una de las variedades a cada tipo de cultivo, la mayoría de ellas no mostró diferencias significativas tal y como muestra el coeficiente β , es decir que no mostraron mejores resultados en un tratamiento u otro. No obstante hubo dos variedades que sí mostraron significación respecto a su mejor adaptación a uno de ellos; estas fueron la variedad Guernika ($\beta = 70,67$) que mostró estar mejor adaptada al cultivo ecológico y Padrón ($\beta = 68,33$) que fue favorecida por el cultivo convencional.

Tabla 7. Contenido medio de ácido ascórbico (CAA, en mg/100 g de materia fresca) estimado en frutos maduros para cada una de las variedades usadas de pimiento, medido en un sistema de cultivo ecológico y convencional y coeficiente de regresión (β) sobre la media ambiental.

Variedad	CAA (mg/100g materia fresca)			Coeficiente β
	Ecológico	Convencional	Promedio	
BGV-10582	101,08 cdef ¹	84,24 cdef	92,66	27,98 ^{NS}
BGV-10946	90,76 abcde	117,81 fgghi	104,28	-44,96 ^{NS}
BGV-13636	88,60 abcde	90,66 defg	89,63	-3,40 ^{NS}
BGV-4335	95,69 bcdef	125,79 ghi	110,74	-50,01 ^{NS}
BGV-60	92,53 abcde	108,64 efgh	100,59	-26,76 ^{NS}
BOL-58	58,34 ab	54,76 abc	56,55	5,96 ^{NS}
Bierzo	85,32 abcd	115,46 efghi	100,39	-50,09 ^{NS}
Bola	92,56 abcdef	101,34 defg	96,95	-14,59 ^{NS}
Cuneo	121,17 efg	111,29 efgh	116,23	16,41 ^{NS}
Disenise	106,33 def	93,12 defg	99,73	21,96 ^{NS}
Doux Long	121,24 defg	107,88 defgh	114,56	22,21 ^{NS}
ECU-994	92,39 abcde	83,65 cdef	88,02	14,53 ^{NS}
Espellette	156,52 gh	123,59 ghi	140,05	54,72 ^{NS}
Guernika	166,48 h	123,95 ghi	145,21	70,67*
Guindilla Ibarra	94,44 bcde	75,60 bcd	85,02	31,31 ^{NS}
Jalapeño M	55,42 a	49,77 ab	52,59	9,39 ^{NS}
Mojo Palmero	150,05 gh	136,39 hi	143,22	22,69 ^{NS}
Numex Big Jim	129,63 fg	149,14 i	139,38	-32,43 ^{NS}
Padrón	104,38 def	145,50 hi	124,94	-68,33*
Piquillo	63,22 ab	81,85 cde	72,53	-30,96 ^{NS}
Serrano Kike	63,83 abc	36,93 a	50,38	44,71 ^{NS}
Media sistema	101,43 A	100,82 A	101,13	-
Efecto ambiental	0,30	-0,30	-	-

¹ Las letras que acompañan a cada valor indican diferencias significativas entre variedades del mismo sistema de cultivo, es decir dentro de la misma columna, para $p < 0,05$ (intervalos LSD: least significant difference de Fisher)

^{NS} indica β no significativa para una probabilidad de $p < 0,05$ mientras que *, **, *** indican β significativa para $p < 0,05$, 0,01 y 0,001 respectivamente, en relación al ratio estadístico F.

4.2.3 Estudio de la interacción estado de madurez \times sistema de cultivo

Como se ha comprobado en los análisis anteriores, el periodo de madurez favoreció la acumulación de ácido ascórbico en los frutos, de manera que todas las variedades presentaron mayor contenido de éste en su estado maduro (**Figura 16**). La única excepción de ello es la variedad Piquillo que mostró niveles ligeramente inferiores de CAA en fruto maduro comparado con inmaduro bajo cultivo ecológico (pendiente = 0,99), se puede apreciar en el gráfico el único círculo azul que se solapa con la primera línea de tendencia (**Figura 16**). El resto de entradas vieron su cantidad de ácido ascórbico aumentada según la tendencia ya descrita en otras investigaciones (Howard *et al.*, 1994; Martínez *et al.*, 2005; Rodríguez & Nuez, 2006).

Otra característica que cabe destacar es que este aumento en el CAA fue variable según la entrada considerada y además también según el sistema de cultivo. La mayoría de entradas se sitúa entre las líneas de pendiente 1 y 4, teniendo por lo tanto un aumento en el contenido de ácido ascórbico del 1% al 300% durante el proceso de maduración. Además de esto, hubo variedades que aumentaron de 4 a 11 veces su contenido, suponiendo un incremento de más del 1000% (**Figura 16**). Este hecho puede indicar que uno de los dos tipos de cultivo favorece el incremento de este compuesto a lo largo del proceso de maduración. De esta manera, en el cultivo ecológico encontramos 7 entradas con un incremento entre el 1% y el 100%, luego 8 entradas con un incremento entre el 100% y el 300%, y por último 5 entradas que han superado el 300% de incremento, correspondiendo la máxima pendiente de 7,46 a la accesión BGV-10582. Por otra parte, en el cultivo convencional hubo 8 entradas con un incremento entre el 1% y el 100%, 9 con un incremento entre el 100% y el 300%, y 4 entradas que superaron el 300% de incremento, llegando a una máxima pendiente de 11,08 en Mojo Palmero. Como se ha podido comprobar anteriormente (**Tabla 4**) y con estos resultados no se puede afirmar que un sistema de cultivo favorezca más que otro la acumulación de ácido ascórbico durante la maduración.

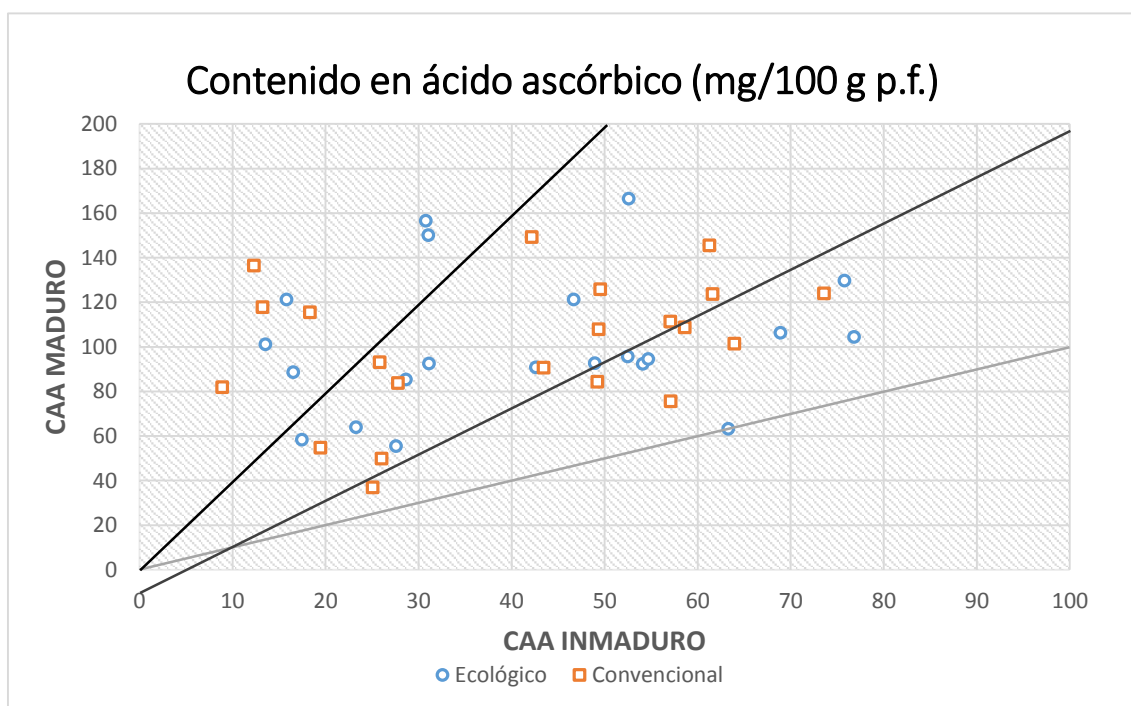


Figura 16. Gráfica comparativa del contenido en ácido ascórbico (CAA en mg/ 100 g de materia fresca en el sistema de cultivo convencional y ecológico. Las líneas de tendencia en la gráfica muestran la pendiente 1 (indica que el CAA se ha mantenido igual a lo largo del cultivo; $CAA\ maduros/CAA\ inmaduros = 1$ y por tanto el incremento 0%), la pendiente 2 (indica que el CAA se ha doblado durante el ciclo de cultivo; $CAA\ maduros/CAA\ inmaduros = 2$ y por tanto el incremento es de 100% con la maduración) y la pendiente 4 (indica que se ha cuadruplicado el CAA ($CAA\ maduros/CAA\ inmaduros = 4$) y por tanto un incremento del 300%

4.3 Estudio descriptivo de la variación en FT por estados de maduración

Los compuestos fenólicos mostraron una gran variabilidad en cuanto a los resultados obtenidos en los distintos estadios de maduración, hecho que confirma lo visto en el análisis de la varianza general hecho anteriormente. Al igual que el CAA, los FT también se vieron aumentados con respecto a la madurez del cultivo, mostrando cantidades mayores de estos compuestos conforme iba madurando el fruto, hecho que se comprobado previamente en otras investigaciones (Howard *et al.*, 2000; Deepa *et al.*, 2007; Ghasemnezhad *et al.*, 2011). A continuación se explorará también el efecto de cada variedad y el sistema de cultivo en cada estado de maduración.

4.3.1 Efecto de la variedad, el sistema de cultivo y su interacción en frutos inmaduros

Las variedades analizadas mostraron una amplia gama de valores (**Tabla 8**), para el cultivo ecológico el rango en el que se encuentran todos ellos va desde 66 mg de equivalentes de ácido clorogénico en 100 g de materia fresca en BGV-60 hasta 161 mg/100 g en ECU-994. Podemos destacar que las entradas con mayor cantidad de polifenoles, además de ECU-994, fueron Serrano (151 mg/100 g), Guernika (140 mg/100 g), Guindilla de Ibarra (138 mg/100 g) y Doux Long (138 mg/100 g) (**Tabla 8**). En el cultivo convencional el rango de valores fue bastante similar aunque con un mínimo de 90 mg/100 g en BGV-60 y un máximo de 168 en ECU-994. Las variedades que mostraron mayor cantidad de fenoles totales para este tipo de cultivo fueron ECU-994, Doux Long (168 mg/100 g), Guindilla Ibarra (160 mg/100 g), Espellete (149 mg/100 g) y Padrón (141 mg/100 g) (Tabla O).

Si observamos el efecto del sistema de cultivo, aunque es mayor que los anteriormente observados para el CAA en ambos tipos, la diferencia mostrada fue pequeña; el promedio en cultivo ecológico es de 111,24 mg/ 100 g de materia fresca mientras que el promedio del convencional fue ligeramente superior a 120 mg/ 100 g más (**Tabla 8**). Aun así esta diferencia hizo que el factor sistema de cultivo fuera significativo en el ANOVA (**Tabla 5**). El número de variedades con niveles significativamente distintos fue reducido por este motivo no se halló significancia en la interacción G × E significativa (**Tabla 5**). Así, el coeficiente de regresión remarcó que la mayoría de las entradas analizadas tenían un comportamiento estable y no se veían significativamente favorecidas por ningún tipo de cultivo. Sin embargo, tres de ellas se

vieron significativamente favorecidas por el cultivo convencional, éstas fueron BGV-10582 con un coeficiente de 3,77, BGV-13636 (3,06) y Doux Long (2,66) (**Tabla 8**).

Tabla 8. Contenido medio de fenoles totales (FT, en mg equivalentes clorogénico/100 g de materia fresca) estimado en frutos inmaduros para cada una de las variedades usadas de pimiento, medido en un sistema de cultivo ecológico y convencional y coeficiente de regresión (β) sobre la media ambiental.

Variedad	FT (mg eq clorogénico /100 g materia fresca)			Coeficiente β
	Ecológico	Convencional	Promedio	
BGV-10582	81,89 ab ¹	124,64 cdef	103,27	3,77**
BGV-10946	95,96 abc	101,52 abc	98,74	0,49 ^{NS}
BGV-13636	98,44 abc	133,19 defgh	115,81	3,06*
BGV-4335	101,81 bcd	95,30 ab	98,56	-0,57 ^{NS}
BGV-60	65,77 a	89,65 a	77,71	2,11 ^{NS}
BOL-58	99,51 bcd	126,13 cdefg	112,82	2,35 ^{NS}
Bierzo	100,73 bcd	105,35 abcd	103,04	0,41 ^{NS}
Bola	119,10 cde	111,34 abcde	115,21	-0,68 ^{NS}
Cuneo	85,38 ab	101,48 abc	93,43	1,42 ^{NS}
Disenise	113,56 bcde	101,17 abc	107,36	-1,09 ^{NS}
Doux Long	137,88 efg	168,06 j	152,97	2,66*
ECU-994	160,65 g	168,07 ij	164,36	0,65 ^{NS}
Espellette	128,32 cdefg	149,35 fghij	138,83	1,85 ^{NS}
Guernika	139,97 efg	132,35 efg	136,16	-0,67 ^{NS}
Guindilla Ibarra	138,30 efg	159,79 hij	149,04	1,89 ^{NS}
Jalapeño M	83,58 ab	103,54 abc	93,56	1,76 ^{NS}
Mojo Palmero	105,69 bcd	116,09 bcde	110,89	0,92 ^{NS}
Numex Big Jim	98,18 abc	101,62 abc	99,90	0,30 ^{NS}
Padrón	128,14 def	141,21 efghi	134,68	1,15 ^{NS}
Piquillo	102,18 bcd	92,49 ab	97,33	-0,85 ^{NS}
Serrano Kike	151,02 fg	151,94 ghij	151,48	0,08 ^{NS}
Media sistema	111,24 A	122,58 B	116,91	-
Efecto ambiental	-5,67	5,67		-

¹ Las letras que acompañan a cada valor indican diferencias significativas entre variedades del mismo sistema de cultivo, es decir dentro de la misma columna, para $p < 0,05$ (intervalos LSD: least significant difference de Fisher)

^{NS} indica β no significativa para una probabilidad de $p < 0,05$ mientras que *, **, *** indican β significativa para $p < 0,05$, 0.01 y 0.001 respectivamente, en relación al ratio estadístico F.

4.3.2 Efecto de la variedad, el sistema de cultivo y su interacción en frutos maduros

De la misma manera que en frutos inmaduros se ha encontrado un amplio rango de valores para el contenido de FT, se observó algo similar para los frutos maduros. En cultivo ecológico los valores medios de accesiones se encuentran en un rango que va de 174 mg de equivalentes de ácido clorogénico por 100 g de materia fresca en el caso de Jalapeño M, hasta la variedad Guernika que ocupa el puesto de la variedad con más cantidad de polifenoles con 330 mg/100 g (**Tabla 9**). Después de Guernika, las

variedades que más cantidad de FT mostraron bajo este sistema de cultivo fueron Padrón (319 mg/100 g), Guindilla Ibarra (296 mg/100 g), Espellette (296 mg/100 g) y BOL-58 con 290 mg /100g (**Tabla 9**). En el sistema de cultivo convencional los valores se encontraron comprendidos entre 171 mg de equivalentes de ácido clorogénico/ 100 g de peso fresco de BGV-60 y 444 mg/100 g de Guernika. Las variedades con más fenoles totales en este sistema de cultivo, después de Guernika, fueron Mojo Palmero (356 mg/100g), Padrón (337 mg/100 g), Guindilla Ibarra (288 mg/100 g) y Espellete (262 mg/100 g) (Tabla 11).

Por lo que respecta al promedio para cada sistema, los valores para el contenido en FT fueron superiores en convencional, con 247,85 mg/100 g mientras que en ecológico la media fue ligeramente inferior con 235 mg/100 g (**Tabla 9**). Como se ha observado anteriormente el factor método de cultivo fue significativo (**Tabla 5**), lo cual nos indica que estas diferencias son importantes. Lo mismo ocurre con la interacción de cada una de las variedades con el método de cultivo, dando una amplia gama de valores y confirmando una vez más la contribución significativa detectada por el ANOVA (**Tabla 5**). Así, según el coeficiente de regresión β , la mayoría de entradas presentó un comportamiento estable, sin embargo son excepción de ello las entradas Guernika y Mojo Palmero, que se vieron significativamente favorecidas por el cultivo convencional, teniendo promedios de FT superiores a las otras variedades (387,05 y 311,55 mg/100 g respectivamente).

Tabla 9. Contenido medio de fenoles totales (FT, en mg equivalentes clorogénico/100 g de materia fresca) estimado en frutos maduros para cada una de las variedades usadas de pimiento, medido en un sistema de cultivo ecológico y convencional y coeficiente de regresión (β) sobre la media ambiental.

Variedad	FT (mg eq clorogénico/100 g materia fresca)			Coeficiente β
	Ecológico	Convencional	Promedio	
BGV-10582	177,25a	187,11 ab	182,18	0,76 ^{NS}
BGV-10946	224,62 bcdef	212,45 abcd	218,53	-0,94 ^{NS}
BGV-13636	178,86 ab	211,91 abcd	195,38	2,55 ^{NS}
BGV-4335	198,14 abcde	222,97 bcde	210,56	1,91 ^{NS}
BGV-60	206,81 abcde	170,64 a	188,72	-2,79 ^{NS}
BOL-58	289,53 ghi	264,99 ef	277,26	-1,89 ^{NS}
Bierzo	184,92 ab	197,48 abc	191,20	0,97 ^{NS}
Bola	208,76 abcde	227,29 bcde	218,03	1,43 ^{NS}
Cuneo	188,81 abc	202,71 abc	195,76	1,07 ^{NS}
Disenise	229,76 bcdef	234,88 cde	232,32	0,39 ^{NS}
Doux Long	244,21 defg	247,18 cdef	245,70	0,23 ^{NS}
ECU-994	233,36 cdef	258,23 def	245,79	1,92 ^{NS}
Espellette	295,65 ghi	262,15 ef	278,90	-2,58 ^{NS}
Guernika	329,83 i	444,28 h	387,05	8,81 ^{***}
Guindilla Ibarra	295,83 hi	287,95 f	291,89	-0,61 ^{NS}
Jalapeño M	174,07 a	172,86 a	173,47	-0,09 ^{NS}
Mojo Palmero	267,41 fgh	355,69 bcde	311,55	6,80 ^{***}
Numex Big Jim	233,60 def	231,69 bcde	232,65	-0,15 ^{NS}
Padrón	319,00 i	337,11 g	328,05	1,39 ^{NS}
Piquillo	203,26 abcde	232,78 cde	218,02	2,27 ^{NS}
Serrano Kike	248,59 efgh	242,58 cde	245,58	-0,46 ^{NS}
Media sistema	234,87 A	247,85 B	241,36	-
Efecto ambiental	-6,49	6,49		-

¹ Las letras que acompañan a cada valor indican diferencias significativas entre variedades del mismo sistema de cultivo, es decir dentro de la misma columna, para $p < 0,05$ (intervalos LSD: least significant difference de Fisher)

^{NS} indica β no significativa para una probabilidad de $p < 0,05$ mientras que *, **, *** indican β significativa para $p < 0,05$, 0.01 y 0.001 respectivamente, en relación al ratio estadístico F.

4.3.3 Estudio de la interacción estado de madurez \times sistema de cultivo

Los resultados para los compuestos fenólicos en la interacción entre el estado de madurez y el sistema de cultivo mostraron en primer lugar mayor contenido en estado maduro (**Fig. 17**), sin excepción alguna contrariamente a lo hallado para el CAA. Esta tendencia ha sido demostrada en numerosas investigaciones (Howard *et al.*, 2000; Deepa *et al.*, 2007; Ghasemnezhad *et al.*, 2011), aunque resultaron distintos los comportamientos para cada variedad probada. En nuestro caso, la gran variedad de entradas de pimiento de distintos tipos y regiones mostraron el mismo comportamiento, aumentando su contenido a lo largo del periodo de maduración como sucedió con el ácido ascórbico.

De la misma forma que para el CAA encontramos variaciones según la entrada dentro de esta tendencia al aumento, lo encontramos también para FT de manera que el crecimiento es en general menor comparado con el CAA y variable según la entrada que tengamos en cuenta. Ejemplo de ello son las variedades como ECU-994 en cultivo ecológico que registró una pendiente de 1,45 y Doux Long en cultivo convencional, que obtuvo una pendiente de 1,47, siendo los incrementos más pequeños. Por otra parte hubo otras variedades como BGV-60 en cultivo ecológico y Guernika en convencional con incrementos superiores al 200% (pendiente FT maduro/FT inmaduro > 3) (**Fig. 17**).

Por último, a diferencia de lo obtenido para el CAA en el que los dos tipos de cultivos provocaron un incremento parecido en todas las variedades, en FT este incremento fue distinto y significativo como se obtuvo en análisis anteriores (**Tabla 4**). Así pues, en el cultivo ecológico hubo 8 variedades con un incremento entre el 1 y el 100% (entre la primera ya la segunda línea de tendencia) y 13 con un crecimiento superior al 100% llegando al 200%. En el lado opuesto tenemos el cultivo convencional con 11 entradas con un incremento entre el 1% y el 100% y 10 que estaban por encima del 100% que también tuvieron su máximo sobre el 200%. Comprobamos pues que el cultivo ecológico parece estar ligeramente por encima en promedio, por lo que podría favorecer la acumulación de FT durante la maduración del fruto, pudiendo participar en la interacción genotipo × sistema de cultivo en este incremento.

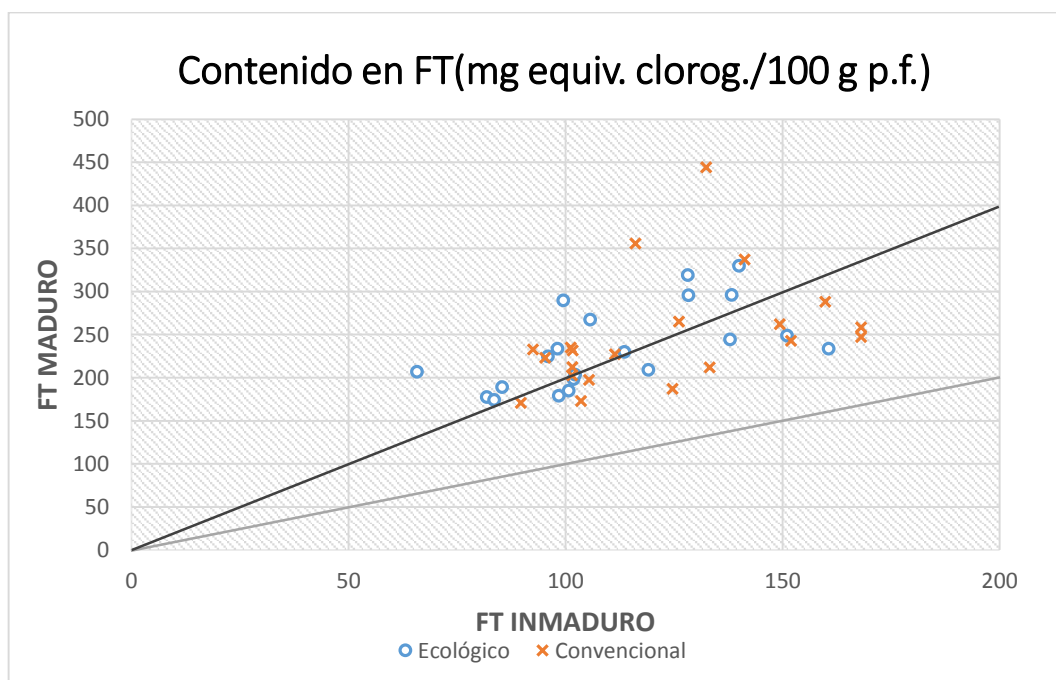


Figura 17. Gráfica comparativa del contenido en fenoles totales (FT en mg equiv. clorog./100 g de materia fresca) en el sistema de cultivo convencional y ecológico. Las líneas de tendencia en la gráfica muestran la pendiente 1 (indica que el CAA se ha mantenido igual a lo largo del cultivo; CAA maduros/CAA inmaduros = 1 y por tanto el incremento 0%) y la pendiente 2 (indica que el CAA se ha doblado durante el ciclo de cultivo; CAA maduros/CAA inmaduros = 2 y por tanto el incremento es de 100% con la maduración).

5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos podemos concluir que:

- ☞ Según los análisis de variación generales, los efectos entrada (G), sistema de cultivo (E) y estado de madurez (M) fueron significativos para los compuestos bioactivos analizados a excepción del sistema de cultivo para el contenido en ácido ascórbico. La mayoría de interacciones entre los factores no fueron significativas para ningún compuesto. En ambos casos el estado de madurez fue el que contribuyó en mayor proporción a la variación observada, por este motivo es aconsejable realizar nuevos análisis separando los estados de madurez.
- ☞ Los ANOVA específicos revelaron que el factor variedad (G) fue significativo para ambos compuestos así como ambos estados de madurez. La interacción entrada (G) × sistema de cultivo (E) también fue significativa en todos los casos excepto para los polifenoles en estado inmaduro. El sistema de cultivo (E) fue solo significativo para los FT. La mayoría de la variación observada en los resultados obtenidos fue debida a la contribución del factor entrada (G) sin embargo para los FT en estado inmaduro, fue el sistema de cultivo (E).
- ☞ El contenido de ácido ascórbico y de fenoles totales aumentaba con la maduración, tanto en promedio como en la mayoría de entradas individuales. El efecto del sistema de cultivo solo se observó en los niveles de FT, siendo ligeramente mayor que en el cultivo ecológico, sin embargo no fue significativo en la mayoría de variedades. Para el CCA se observó un promedio mayor en cultivo ecológico pero tampoco fue significativo.
- ☞ En el ensayo presentado se ha encontrado una gran diversidad de valores para los contenidos de ambos compuestos bioactivos según la variedad y tratamiento. Estas interacciones entrada (G) × sistema de cultivo (E) permitirían la selección de materiales mejor adaptados a un sistema u otro. A pesar de ello, la variación no fue suficiente para mostrar diferencias significativas entre los tratamientos.
- ☞ Las gráficas comparativas del contenido en ácido ascórbico y polifenoles en ambos estados de madurez mostraron distintos incrementos de estos compuestos entre las variedades. Estos resultados pueden ser interesantes para comparar los comportamientos de cada una de las variedades en cada tipo de tratamiento durante todo el ciclo de cultivo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Asami, D. K., Hong, Y.-J., Barrett, D. M., & Mitchell, A. E. (2003). Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1237–1241.
- Borguini, R. G. (2006). Antioxidant potential and physical-chemical characteristics of organic tomato (*Lycopersicon esculentum*) in comparison with conventional tomato. São Paulo: USP. *São Paulo: Universidade de São Paulo*.
- Bors, W., Heller, W., Michel, C., & Stettmaier, K. (1996). Flavonoids and polyphenols: chemistry and biology. *ANTIOXIDANTS IN HEALTH AND DISEASE SERIES*, 409–468.
- Bosland, P. W., & DeWitt, D. (2009). *The complete chile pepper book: A gardener's guide to choosing, growing, preserving, and cooking*. Timber Press.
- Bosland, P. W., Votava, E. J., & Votava, E. M. (2012). *Peppers: vegetable and spice capsicums* (Vol. 22). Cabi.
- Boswell, V.R. (1949). Garden pepper. Both a vegetable and condiment. *National Geographic Mag.* 96: 166-167
- Castañón-Nájera, G., Latournerie-Moreno, L., Leshner-Gordillo, J. M., de la Cruz-Lázaro, E., & Mendoza-Elos, M. (2010). Identificación de variables para caracterizar morfológicamente colectas de chile (*Capsicum* spp.) en Tabasco, México. *Universidad Y Ciencia*, 26(3), 225–234.
- Chassy, A. W., Bui, L., Renaud, E. N. C., Van Horn, M., & Mitchell, A. E. (2006). Three-year comparison of the content of antioxidant microconstituents and several quality characteristics in organic and conventionally managed tomatoes and bell peppers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(21), 8244–8252.
- Csilléry, G. (2006). Pepper taxonomy and the botanical description of the species. *Acta Agronomica Hungarica*, 54(2), 151–166.
- Davis, D. R., Epp, M. D., & Riordan, H. D. (2004). Changes in USDA food composition data for 43 garden crops, 1950 to 1999. *Journal of the American College of Nutrition*, 23(6), 669–682.
- Deepa, N., Kaur, C., George, B., Singh, B., & Kapoor, H. C. (2007). Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *LWT-Food Science and Technology*, 40(1), 121–129.
- del Amor, F. M., Serrano-Martínez, A., Fortea, I., & Núñez-Delicado, E. (2008). Differential effect of organic cultivation on the levels of phenolics, peroxidase and capsidiol in sweet peppers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(5), 770–777.

- DeWitt, D., & Bosland, P. W. (1996). *Peppers of the world. An identification guide*. Ten Speed Press.
- DeWitt, D., & Gerlach, N. (1990). *whole chile pepper book*. Little, Brown.
- Erickson, A. N., & Markhart, A. H. (2002). Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. *Plant, Cell & Environment*, 25(1), 123–130.
- Eshbaugh, W. H. (1975). Genetic and biochemical systematic studies of chili peppers (*Capsicum-Solanaceae*). *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 396–403.
- Eshbaugh, W. H. (1980). The taxonomy of the genus *Capsicum* (*Solanaceae*)-1980. *Phytologia*, 47(3), 153–166.
- Eshbaugh, W. H. (1979). Biosystematic and evolutionary study of the *Capsicum pubescens* complex [Collected from South America]. *Research Report-National Geographic Society (USA)*.
- Espín de Gea, J. C., & Tomás-Barberán, F. (2006). Polifenoles y salud. *Investigación Y Ciencia*, 356, 34–36.
- FAO. Consulta de datos estadísticos. <http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf> y <http://faostat3.fao.org/home/E> (Consultado el 8 de Mayo de 2016 y 20 de Junio).
- FAO. (1999). Directrices para el manejo de pequeñas cantidades de plaguicidas inutilizados y caducados. Colección *FAO: Eliminación de plaguicidas* n° 7. PNUMA/OMS/FAO. FAO. Roma.
- Ferrari, C. K. B., & Torres, E. (2003). Biochemical pharmacology of functional foods and prevention of chronic diseases of aging. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 57(5), 251–260.
- 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.
- FiBL (Forschungsinstitut für Biologischen Landbau) Willer, H; Julia, L; Beate, H; Amarjit, S. (2013). Presentations from the session "The World of Organic Agriculture-Statistics and Emerging Trends 2013" at the BioFach Congress 2013
- Gallais, A., & Bannerot, H. (1992). *Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection*. Editions Quae.
- 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.
- Gómez Sal, A. (2013). Sostenibilidad ecológica y dimensiones evaluativas en la agricultura. Serie: *Agroecología y ecología agraria*. SEAE, Catarroja, España
- Halliwel, B. (1996). Antioxidants in human health and disease. *Annual Review of Nutrition*, 16: 39-50.

- Hallmann, E., & Rembiałkowska, E. (2012). Characterisation of antioxidant compounds in sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under organic and conventional growing systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(12), 2409–2415.
- Harborne, J. B., & Williams, C. A. (2000). Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*, 55(6), 481–504.
- Heiser, C. B. (1976). Peppers: *Capsicum* (Solanaceae). *Simmonds, NW (Ed)*.
- Hollman, P. H., & Katan, M. B. (1999). Dietary flavonoids: intake, health effects and bioavailability. *Food and Chemical Toxicology*, 37(9), 937–942.
- 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 jalapenos. *Journal of Food Science*, 59(2), 362–365.
- Howard, L. R., Talcott, S. T., Brenes, C. H., & Villalon, B. (2000). Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1713–1720.
- IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements). 1998. Manual de agricultura ecológica.
- Kalra, E. K. (2003). Nutraceutical-definition and introduction. *Aaps Pharmsci*, 5(3), 27-28
- Latham, M. C. (2002). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo* (Vol. 29). FAO.
- Lee, J. J., Crosby, K. M., Pike, L. M., Yoo, K. S., & Leskovar, D. I. (2005). Impact of genetic and environmental variation on development of flavonoids and carotenoids in pepper (*Capsicum* spp.). *Scientia Horticulturae*, 106(3), 341–352.
- Loaiza-Figueroa, F., Ritland, K., Cancino, J. A. L., & Tanksley, S. D. (1989). Patterns of genetic variation of the genus *Capsicum* (Solanaceae) in Mexico. *Plant Systematics and Evolution*, 165(3-4), 159–188.
- López, A., Fenoll, J., Hellín, P., & Flores, P. (2013). Physical characteristics and mineral composition of two pepper cultivars under organic, conventional and soilless cultivation. *Scientia Horticulturae*, 150, 259–266.
- MAGRAMA (Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente). 2014. <http://www.magrama.gob.es>. (Consultado el 10 de Julio de 2016).
- Maroto, J. (1989). Horticultura Herbácea y Especial. Ed. *Mundi-Prensa* 5ta edición. Madrid-España. 590 pp
- Martínez, S., López, M., González-Raurich, M., & Bernardo Alvarez, > Ana. (2005). The effects of ripening stage and processing systems on vitamin C content in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 56(1), 45–51.

- McClung de Tapia, E. (1992). The origins of agriculture in Mesoamerica and Central America. *The Origins of Agriculture: An International Perspective*, 143–172.
- McLeod, M. J., Guttman, S. I., & Eshbaugh, W. H. (1982). Early evolution of chili peppers (Capsicum). *Economic Botany*, 36(4), 361–368.
- Moscone, E. A., Scaldaferrro, M. A., Grabile, M., Cecchini, N. M., Sánchez García, Y., Jarret, R., Ehrendorfer, F. (2006). The evolution of chili peppers (Capsicum-Solanaceae): a cytogenetic perspective. In *VI International Solanaceae Conference: Genomics Meets Biodiversity 745* (pp. 137–170).
- Namesny A. Pimientos. Compendios de Horticultura 16. 2da Ed. *De Horticultura*, Barcelona, España. 2006. 167.
- National Institute of Health. Office of dietary supplements (NIH). <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminC-HealthProfessional/> (Consultado el 9 de Mayo de 2016).
- ONU COMTRADE. Consulta de datos estadísticos. <http://comtrade.un.org> (Consultado el 9 de Mayo de 2016).
- Nichols, J. A., & Katiyar, S. K. (2010). Skin photoprotection by natural polyphenols: anti-inflammatory, antioxidant and DNA repair mechanisms. *Archives of Dermatological Research*, 302(2), 71–83.
- Pickersgill, B. (1988). The genus Capsicum: a multidisciplinary approach to the taxonomy of cultivated and wild plants. *Biologisches Zentralblatt*, 107(4), 381–389.
- Pickersgill, B., Heiser, C. B., & McNeill, J. (1979). Numerical taxonomic studies on variation and domestication in some species of Capsicum. In *Linnean Society symposium series*.
- Rice-Evans, C., Miller, N., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, 2(4), 152–159.
- 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 annum- chinense- frutescens Complex. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4388–4400.
- Rodríguez-Burruezo, A., & Viñals, F. N. (2006). Mejora de la calidad del pimiento. In *Mejora genética de la calidad en plantas* (pp. 361–392). Universidad Politécnica de Valencia.
- Schuphan, W. (1974). Nutritional value of crops as influenced by organic and inorganic fertilizer treatments. *Qualitas Plantarum*, 23(4), 333–358.
- Singh, R. J. (2006). *Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement: vegetable crops* (Vol. 3). CRC press.
- Smith, P. G., & Heiser Jr, C. B. (1957). Taxonomy of Capsicum sinense Jacq. and the geographic distribution of the cultivated Capsicum species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 413–420.

- Smith, P. G., & Heiser, C. B. (1957). *Breeding behavior of cultivated peppers*.
- Stopes, C; Schlüter, M; Kölling, A. (2010). Impulsar y defender al sector de la producción ecológica en Europa. *AE Revista de divulgación técnica*, 1, 12-15.
- Viñals, N., Ortega, F., & Joaquín, R. C. G. (1996). *El cultivo de pimientos, chiles y ajíes*. Madrid, ES: Mundi-Prensa.
- Wall, M. M., Waddell, C. A., & Bosland, P. W. (2001). Variation in β -carotene and total carotenoid content in fruits of *Capsicum*. *HortScience*, 36(4), 746–749.
- Weibel, F. P., Bickel, R., Leuthold, S., & Alföldi, T. (1998). Are organically grown apples tastier and healthier? A comparative field study using conventional and alternative methods to measure fruit quality. In *XXV International Horticultural Congress, Part 7: Quality of Horticultural Products 517* (pp. 417–426).
- Willer, H., Julia, L., Beate, H., & Amarjit, S. (2013). Presentations from the session “The World of Organic Agriculture-Statistics and Emerging Trends 2013” at the BioFach Congress 2013.