



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Instituto de Conservación y Mejora
de la Agrodiversidad Valenciana

**EFFECTO DE LA COMBINACIÓN PATRÓN-
PORTAINJERTO, ESTADO DE MADURACIÓN
DEL FRUTO Y CONDICIONES DE ESTRÉS
HÍDRICO O SALINO SOBRE EL CONTENIDO EN
COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL PIMIENTO
(*Capsicum annum L.*)**

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MASTER UNIVERSITARIO EN MEJORA GENÉTICA VEGETAL

ALUMNO: JUAN ANTONIO MARTÍN ROMERO
DIRECTOR ACADÉMICO: ADRIÁN RODRÍGUEZ BURRUEZO
VALENCIA, 26 DE SEPTIEMBRE 2016

Índice

1. Introducción	7
1.1. Origen, domesticación y difusión	8
1.2. Descripción botánica	10
1.2.1. Complejo <i>annum</i>	12
1.2.2. Otras especies cultivadas del género <i>Capsicum</i>	15
1.3. Importancia socioeconómica	17
1.4. Aspectos morfológicos y fisiológicos	22
1.5. Condiciones de cultivo del pimiento	28
1.6. Accidentes, plagas y enfermedades	30
1.6.1. Fisiopatías	30
1.6.2. Plagas	31
1.6.3. Enfermedades	33
1.7. Calidad del fruto en pimiento (<i>Capsicum spp.</i>)	36
1.7.1. Calidad externa	36
1.7.2. Calidad nutricional	36
1.8. Cambio climático	41
1.9. Impacto del cambio climático sobre la humanidad	42
1.9.1 Seguridad alimentaria	42
1.9.2. Disponibilidad de agua dulce	43
1.10. Mejora genética y perspectivas de mejora en el cultivo del pimiento	44
1.11. Objetivos	45

2. Materiales y Métodos	47
2.1. Material Vegetal	48
2.2. Condiciones de cultivo	48
2.3. Diseño experimental y muestreo	49
2.4. Preparación de muestras	49
2.5. Protocolo de análisis del contenido en ácido ascórbico	50
2.6. Protocolo de análisis del contenido en fenoles totales	53
2.7. Análisis estadístico	54
3. Resultados y discusión	55
3.1. Análisis de la variación (ANOVA)	56
3.2. Análisis del contenido en materia seca y efecto de la combinación, tratamiento, estado de madurez e interacción.	59
3.2.1. Materia seca (MS): efecto de la combinación, tratamiento e interacción en fruto inmaduro	59
3.2.2. Materia seca (MS): efecto de la combinación, tratamiento e interacción en fruto maduro	61
3.2.3. Materia seca (MS): efecto del estado de madurez, tratamiento e interacción	63
3.3. Análisis del contenido en ácido ascórbico y efecto de la combinación, tratamiento, estado de madurez e interacción.	65
3.3.1. Contenido en ácido ascórbico (CAA): efecto de la combinación, tratamiento e interacción en fruto inmaduro.	65
3.3.2. Contenido en ácido ascórbico (CAA): efecto de la combinación, tratamiento e interacción en fruto maduro.	67
3.3.3. Contenido en ácido ascórbico (CAA): efecto del estado de madurez, tratamiento e interacción.	69
3.4. Análisis del contenido en fenoles totales y efecto de la combinación, tratamiento, estado de madurez e interacción.	71

3.4.1. Fenoles totales (FT): efecto de la combinación, tratamiento e interacción en fruto inmaduro.	71
3.4.2. Fenoles totales (FT): efecto de la combinación, tratamiento e interacción en fruto maduro.	73
3.4.3. Fenoles Totales (FT): efecto del estado de madurez, tratamiento e interacción.	75
4. Conclusiones	77
5. Bibliografía	80

Índice de Tablas y Figuras

Tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica del pimiento.	10
Tabla 2. Características morfológicas diferenciales entre especies domesticadas de <i>Capsicum</i> .	11
Tabla 3. Combinaciones variedad/patrón empleadas en el presente experimento.	48
Tabla 4. Análisis de la variación (ANOVA, basado en cuadrados medios) para los efectos principales tratamiento, estado de maduración y combinación portainjerto/variedad (cv. Adije), así como su interacción para el contenido en materia seca (MS), ácido ascórbico (CAA) y fenoles totales (FT) en fruto.	56
Tabla 5. Análisis de la variación (ANOVA, basado en cuadrados medios) para los efectos principales tratamiento y combinación portainjerto/variedad (cv. Adije), así como su interacción para el contenido en materia seca (MS), ácido ascórbico (CAA) y fenoles totales (FT) en fruto inmaduro.	57
Tabla 6. Análisis de la variación (ANOVA, basado en cuadrados medios) para los efectos principales tratamiento y combinación portainjerto/variedad (cv. Adije), así como su interacción para el contenido en materia seca (MS), ácido ascórbico (CAA) y fenoles totales (FT) en fruto maduro.	58
Tabla 7. Efecto del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en materia seca (MS) de los frutos inmaduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación).	60
Tabla 8. Efecto del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en materia seca (MS) de los frutos maduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación).	62
Tabla 9. Ratio del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en materia seca (MS) de los frutos maduros/inmaduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación).	63
Tabla 10. Efecto del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en ácido ascórbico (CAA) de los frutos inmaduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación).	66

Tabla 11. Efecto del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en ácido ascórbico (CAA) de los frutos maduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación).	68
Tabla 12. Ratio del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en ácido ascórbico (CAA) de los frutos maduros/inmaduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación).	69
Tabla 13. Efecto del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en fenoles totales (FT) de los frutos inmaduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación).	72
Tabla 14. Efecto del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en fenoles totales (FT) de los frutos maduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación).	74
Tabla 15. Ratio del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en fenoles totales (FT) de los frutos maduros/inmaduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación).	75

Figuras

Figura 1. Diversidad morfológica del fruto de <i>Capsicum annuum</i> y <i>Capsicum chinense</i> .	12
Figura 2. Flor y frutos de <i>Capsicum chinense</i> .	13
Figura 3. Flor y frutos de <i>Capsicum frutescens</i> .	14
Figura 4. Flor y fruto de <i>Capsicum baccatum</i> .	15
Figura 5. Flor y fruto de <i>Capsicum pubescens</i> .	16
Figura 6. Gráficas porcentuales de la producción de pimientos frescos (izquierda) y secos (derecha) a nivel mundial.	17
Figura 7. Rendimiento (t/ha) y producción de pimiento para fresco (t).	18
Figura 8. Gráfico porcentual de la producción de los principales cultivos hortícolas en España.	19
Figura 9. Área total de cultivo de pimiento en España.	19
Figura 10. Variedades de <i>Capsicum annuum</i> más productivas en España: <i>C. wonder</i> en estado inmaduro, maduro y amarillo (izquierda),	20

lamuyo en estado inmaduro y maduro (centro) y tipo italiano consumido principalmente en estado inmaduro.

Figura 11. Diferentes formas de hojas de <i>Capsicum annuum</i> según la caracterización propuesta por la UPOV.	23
Figura 12. Flor del pimiento en la inserción de la hoja.	24
Figura 13. Forma externa del fruto de <i>Capsicum annuum</i> .	25
Figura 14. Frutos maduros de <i>Capsicum annuum</i> .	26
Figura 15. Semillas del Género <i>Capsicum</i> de izquierda a derecha: <i>C. annuum</i> , <i>C. chinense</i> , <i>C. frutescens</i> , <i>C. baccatum</i> y <i>C. pubescens</i> .	27
Figura 16. Tubos Falcon con el extracto vegetal acuoso.	50
Figura 17. Valorador automático.	52
Figura 18. Aforados utilizados para el análisis de los fenoles totales.	54
Figura 19: Gráfica comparativa entre frutos maduros e inmaduros del contenido en materia seca.	64
Figura 20. Gráfica comparativa entre frutos maduros e inmaduros del contenido en ácido ascórbico.	70
Figura 21. Gráfica comparativa entre frutos maduros e inmaduros del contenido en fenoles totales.	76

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ORIGEN, DOMESTICACIÓN Y DIFUSIÓN

Todas las especies del género *Capsicum*, excepto *C. anomalum*, son originarias de América. El hombre, mediante la domesticación, ha aprovechado sus frutos desde tiempos inmemoriales en el continente americano. Así el género *Capsicum* fue uno de los primeros en ser domesticados en esta región, junto a *Cucurbita* (calabazas) y *Phaseolus* (judía/frijoles), (Nuez *et al.*, 2003).

Según la teoría con mayor aceptación (Mc Leod *et al.* 1982), una porción importante del género *Capsicum* se originó en el área nuclear situada en la parte sud-central de Bolivia, región comprendida entre las ciudades de Cochabamba, Sucre y Santa Cruz. Posteriormente se produciría un doble flujo migratorio de genes: a) hacia los Andes y b) hacia las tierras bajas, en dirección a la Amazonía con eventos de radiación y especialización. También se sugirió que un tipo similar al actual *C. chacoense* de flor blanca o un ancestro, dio lugar tanto a la estirpe de flores blancas como a la de flores púrpura.

El tipo de flores púrpuras, *C. eximium* o un ancestro similar, migraría hacia las tierras altas de los Andes, originando al tipo silvestre *C. cardenasii* y el tipo domesticado *C. pubescens*, explicando la estricta adaptación de esta última a tales condiciones agroclimáticas. *C. baccatum* se habría domesticado en el área del sur de Bolivia, la cual es relativamente seca, a partir del ancestro que originó el grupo de flores blancas. Finalmente, parte del tipo de flores blancas habría migrado a las zonas bajas, saliendo fuera del área nuclear siguiendo el curso del río Mizque e integrándose al sistema fluvial de la cuenca del Amazonas. Sería en este clima húmedo en el que se originarían los progenitores silvestres del complejo *annuum*.

El proceso de domesticación se produjo de forma independientemente en varias zonas y sobre diferentes especies silvestres. En la actualidad se acepta el hecho de que, mientras que *C. baccatum* y *C. pubescens* fueron domesticados en áreas adyacentes de Bolivia, el complejo *annuum* fue domesticado al menos dos veces, originando *C. chinense* y *C. frutescens* en la Amazonía y *C. annum* en México (Pickersgill, 1989). El hombre seleccionó y conservó durante este proceso una amplia diversidad de tipos por su color, tamaño, forma e intensidad del sabor picante. Es por ello que existe una variación paralela en las diversas especies domesticadas, existiendo series homologas de variación respecto al sabor del fruto (dulce a picante), intensidad de color en la inmadurez (de blanco a verde oscuro), intensidad de color en madurez (amarillo pálido a rojo oscuro), forma del fruto (cuadrado, alargado, redondo), etc. (Nuez *et al.*, 2003).

El pimiento en la época precolombina

Pimientos, chiles y ajíes fueron muy importantes gastronómicamente en la época prehispánica. Tal y como se ha mencionado, se han encontrado semillas de *Capsicum* spp. con una antigüedad superior a los 10.000 años en un valle de los Andes, concretamente en la cueva Guitarrero en el Perú (2.580 m, >8.000 a.C.), aportando de este modo más pruebas de que el género *Capsicum* se encuentra entre las primeras plantas domesticadas de Sudamérica. Además existen registros arqueológicos en México en cuevas de los estados de Tamaulipas o Puebla, en los que aparecen semillas de chiles, calabazas y amaranto, con una datación en torno a 7000-5000 años a.C., mientras que los restos más antiguos de chiles domesticados en Mesoamérica fueron hallados en Tehuacán y datan de entre 6500 y 5500 a.C. (Nuez *et al.*, 2003).

Las excavaciones arqueológicas llevadas a cabo en Centroamérica, mostraron diversos utensilios culinarios para preparar salsas con chile. Los aztecas se alimentaban principalmente de maíz, frijol y amaranto, utilizando como especias tanto el chile como el tomate y el cacao. De todos es conocido que el chile sigue estando presente en la mayoría de los platos de la cocina azteca. Podíamos encontrar una gran diversidad varietal, tal era así que solo en forma y color existían hasta 40 tipos diferentes.

El pimiento en la época postcolombina

Con la llegada de los europeos a tierras americanas, los cronistas recopilaron gran cantidad de información sobre chiles o ajíes. En el diario del primer viaje de Colón, con fecha 15 de enero de 1493, figura: *“Allí hay mucho ají, que es su pimienta, della que vale más que pimienta, y toda la gente no come sin ella, que la halla muy sana: puédense cargar cincuenta carabelas cada año de en aquella Española”*. Pedro de Anglería, en una carta fechada en septiembre de 1493, afirma que fue el propio Colón quien trajo el ají a España, además de muestras de cacao, caucho, algodón, cacahuete, hierbas medicinales y diversos frutos tropicales.

Los indígenas americanos los llamaban *chili* o *axí*, pero los españoles y portugueses los llamaron pimientos o pimientos del Brasil (Namesny Vallespir, 1996). La primera descripción detallada del pimiento conocida fue realizada por Gonzalo Fernández de Oviedo en el *“Sumario de la naturaleza y general historia de las Indias”* (Toledo, 1526). Los pimientos sufrieron una rápida difusión mundial tras su llegada a España, a diferencia de otras solanáceas como la patata o el tomate. Tras su aclimatación, los europeos se acostumbraron a secarlo, molerlo y usarlo para condimentar y dar color a diferentes clases de platos de la época. Fue a partir del siglo XVI cuando se empezaron a cultivar en España y de ahí pasaron a Italia, desde donde se difundió a Francia (Escudero, 1994). Desde Brasil los portugueses se encargaron de hacerlos llegar al resto de Europa y del mundo mediante sus colonias en África y Asia. La principal razón para esta rápida difusión fue que estos frutos representaban una alternativa a la pimienta asiática, la cual era mucho más cara. Durante los siguientes doscientos años,

el ají americano, se introdujo en la gastronomía de los pueblos mediterráneos así como en la indonesia, china e india.

Hoy día, la mitad del pimiento del mundo se produce en el área del Mediterráneo, aunque se cultiva en el mundo entero, destacando España por una alta producción. Las variedades más grandes y carnosas poco picantes o dulces que se consumen actualmente, empezaron a cultivarse a partir del siglo XX (Sancho y Navarro, 1957; Namesny Vallespir, 1996). A pesar de que los tipos dulces dominan actualmente las preferencias occidentales, pertenece a una estirpe rara y genéticamente recesiva, que portaba una mutación que impide sintetizar capsaicinoides, que son los principios activos que dan lugar a la pungencia.

1.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Todas las formas de pimiento que usa el hombre pertenecen al género *Capsicum* (Tabla 1). *Capsicum* proviene según unos autores, del griego *Kapso* (picar) según otros, de *Kapsakes* (cápsula). Este género está incluido en la familia de las Solanáceas (Nuez *et al.*, 2003):

Tabla 1. Clasificación taxonómica del pimiento (Nuez *et al.*, 2003)

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Solanaceae</i>
Subfamilia	<i>Solanoideae</i>
Género	<i>Capsicum</i>

La familia de las Solanáceas está formada por unos 90 géneros, divididos en 2 subfamilias: *Solanoideae* y *Cestroideae*, las cuales se diferencian morfológica, química y citogenéticamente, pero la principal diferencia radica en los modelos de desarrollo embrionario, siendo embriones enrollados con diámetro uniforme para la primera y embriones típicamente rectos y ligeramente curvados para la segunda. El género *Capsicum* pertenece a la tribu *Solaneae*, la más grande de las subfamilias Solanoideae ya que está integrada por unas 1250 especie, encuadrada en 18 géneros. La taxonomía del género *Capsicum* es compleja, debido a la gran variabilidad de formas existentes en las especies cultivadas y a la diversidad de criterios utilizados en la clasificación.

La actual clasificación de las especies utilizadas por el hombre, principalmente las domesticadas del género *Capsicum*, es la establecida por el International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR, 1983) en la que se definen claramente cinco especies cultivadas, pudiendo tener varios pseudónimos diferentes dependiendo de la zona geográfica donde se cultivan, como ocurre en las zonas de México, EEUU y Caribe anglosajón donde los “pimientos” se conocen como “chiles”, mientras que el término “ajíes” suele emplearse en Centroamérica y Sudamérica. Las principales características morfológicas diferenciales entre las cinco especies domesticadas de *Capsicum* se disponen a continuación (Tabla 2).

Tabla 2. Características morfológicas diferenciales entre especies domesticadas de *Capsicum* (DeWitt y Bosland, 1996 y Nuez et al., 2003)

Especie	Flores por nudo	Cáliz	Color de la corola	Manchas basales en el lóbulo de la corola	Color de las anteras	Color de semillas
<i>C. annum</i> var. <i>Annuum</i>	1	Sin constricción anular, usualmente dentado	Blanca a blanco opaco (raramente púrpura)	Ninguna	Azules-púrpura	Paja (bronceado)
<i>C. frutescens</i>	2-4	Sin constricción anular, usualmente no dentado	Blanco verdoso o verdoso	Ninguna	Azules-púrpura	Paja (bronceado)
<i>C. chinense</i>	2	Con constricción anular, no dentado	Blanco verdoso o verdoso	Ninguna	Azules	Paja (bronceado)
<i>C. baccatum</i> var. <i>Pendulum</i>	1	Sin constricción anular, dentado	Blanco (crema) blanco verdoso	Amarillo-verde	Blancas-amarillento	Paja (bronceado)
<i>C. pubescens</i>	1	Sin constricción anular, dentado	Púrpura blanco-púrpura	Ninguna	Púrpuras (púrpura-blanco)	Negras (marrones/negras)

1.2.1. Complejo *annuum*

En este grupo botánico encontramos tres especies cultivadas: *C. annum*, *C. frutescens* y *C. chinense*. Estas especies poseen corola completamente blanca y semillas amarillas, (Dewitt y Bosland, 1996; Nuez *et al.*, 2003). Su origen se encuentra en un ancestro común, siendo filogenéticamente muy cercanas, por lo que hay dificultades para determinar los límites entre ellas. Tanto es así que los cruces interespecíficos se dan con relativa facilidad, aunque el éxito siempre depende de la combinación de genotipos.

Capsicum annum

Posee flores solitarias en cada nudo, ocasionalmente fasciculadas. Los pedicelos suelen pender en la antesis. La corola es de color blanca lechosa u ocasionalmente púrpura y suele tener los pétalos rectos. El cáliz de los frutos maduros no presenta constricción anular en la unión con el pedicelo, aunque a veces puede aparecer irregularmente rugoso, con venas prolongadas en dientes cortos. Los frutos presentan un espesor de carne muy variable y semillas de color paja. Su número cromosómico es $2n=24$ (Nuez *et al.*, 2003). Morfológicamente presenta una alta variabilidad en cuanto forma, tamaño y colores del fruto (Figura 1), debido a que es la especie que se ha difundido más ampliamente y por tanto ha experimentado gran cantidad de procesos de adaptación y selección según las necesidades del agricultor.



Figura 1. Diversidad morfológica del fruto de *Capsicum annum* *Capsicum chinense*

Presenta dos o más flores en cada nudo, ocasionalmente solitaria (Figura 2). Los pedicelos pueden estar erectos o pendientes en la antesis. Los pétalos de la corola suelen ser rectos y de color blanco-verdosos, aunque también pueden ser blancos o púrpuras. La presencia de frutos maduros de constricción anular en la unión con el pedicelo es identificativo de la especie. Las venas del cáliz no están prolongadas en dientes. El fruto maduro presenta la carne firme y semillas de color ocre. Su número cromosómico es $2n=24$, con un par de cromosomas acrocéntricos. Es la segunda especie con más diversidad dentro del complejo *annuum* y donde se incluyen los tipos varietales más picantes del mundo, como los “Habaneros”, los “Scotch Bonnet” o los tipos “Jolokia”.



Figura 2. Flor y frutos de *Capsicum chinense*

Capsicum frutescens

Número de flores por nudo variable. Las flores suelen ser erectas en la antesis, al igual que sus frutos maduros, siendo una característica distintiva de la especie. El color de la corola es blanca-verdosa con pétalos revolutos. El cáliz en los frutos no suele presentar constricción anular en la unión con el pedicelo, aunque a menudo irregularmente rugoso. Las venas no se prolongan en dientes, excepto en contadas ocasiones. Los frutos maduros presentan una carne blanda que tiene facilidad para deshacerse (Figura 3), las semillas son de color paja. Su número cromosómico es $2n=24$, con un par de cromosomas acrocéntricos. Aunque se han desarrollado varias líneas cultivadas, la diversidad morfológica en esta especie es muy reducida, sugiriendo que ha sufrido una domesticación menos intensa que sus parientes *C. annuum* y *C. chinense*. De hecho, se considera una especie semicultivada, pues en muchas regiones de Sudamérica (Venezuela, Brasil, Perú, Ecuador) sus frutos son recolectados de plantas que crecen de forma espontánea en la naturaleza (Dewitt y Bosland, 1996).



Figura 3. Flor y frutos de *Capsicum frutescens*

1.2.2. Otras especies cultivadas del género *Capsicum*

C. baccatum (var. *pendulum*):

Representa otra estirpe genética claramente diferenciada del complejo *annuum*. El número de flores por nudo es variable. Eshbaugh (1968) apuntó, que distintas especies sudamericanas se caracterizaban por presentar flores de color crema con manchas amarillas o verdes en la corola a cada lado de la vena central de los pétalos, que también suelen ser ligeramente revolutos (Figura 4). El cáliz en los frutos no tiene constricción anular en la unión con el pedicelo y las venas se prolongan en dientes prominentes. Los frutos recuerdan típicamente a guindillas largas de mayor o menor longitud y superficie tosca. La carne es firme y las semillas de color crema. El número cromosómico es $2n=24$. El tipo silvestre es designado a *C. baccatum* var. *baccatum*. y es muy común en Bolivia, siendo este el centro de origen para esta especie. Conocido comúnmente como “Aji” es muy popular en Sudamérica especialmente por su pungencia como especia y gracias a los suaves aromas y sabores que ofrecen los distintos cultivares. El grado de diversidad morfológica es alto, ya que tuvo una importancia histórica desde las civilizaciones precolombinas, dando lugar a un intenso proceso de selección y mejora. Aunque la mayoría de los genotipos producen frutos pungentes, es la única especie junto a *C. annuum* y algún caso en *C. chinense* en la que se pueden encontrar algunos genotipos dulces. Este pimiento es poco conocido fuera de Sudamérica, aunque su cultivo y adaptación se han extendido a pequeña escala a México, EEUU incluyendo Hawai, la costa mediterránea española y la India.



Figura 4. Flor y fruto de *Capsicum baccatum*

C. pubescens

Forma otro linaje genético distinto de *C. baccatum* y del complejo *annuum*. Este pimiento, descrito por primera vez por Ruiz (1952), no despertó la atención de los taxonomistas hasta fechas relativamente recientes (Eshbaugh 1979 y 1982). Morfológicamente es distinto a cualquier otro pimiento domesticado, posee grandes flores púrpuras, algunas veces difuminadas con blanco. Los pétalos de la corola son rectos y sus flores son solitarias por cada nudo. El cáliz de los frutos maduros no tiene constricción anular en la unión con el pedicelo y las venas se prolongan en dientes. La carne del fruto es firme y sus semillas de color marrón/negro presentan pungencia (Figura 5). Su número cromosómico es $2n=24$. Genéticamente está relacionado con un grupo de taxones silvestres que incluye a *C. eximium* (Bolivia y norte de Argentina), *C. cardenasii* (Bolivia) y *C. tovarii* (Perú). *C. pubescens* tiene la particularidad de ser una especie cultivada en las tierras altas, frescas y húmedas de los Andes (>2000 m), en países como Bolivia, Ecuador y Perú, por lo que se ve afectada negativamente en otras condiciones agroclimáticas. De este modo sólo se ha podido adaptar a las tierras altas de Guatemala, sur de México, especialmente Chiapas, donde la denominan “manzanos” y el sur de California, con un pequeño mercado de exportación de semillas. Junto a *C. frutescens*, es la especie con la menor variabilidad morfológica de las cinco cultivadas por el hombre, lo que seguramente es debido a un grado muy bajo de domesticación, siendo una especie que es prácticamente desconocida en el resto del mundo, pero que está muy arraigada y tiene una gran influencia en la gastronomía andina en donde se les denomina “rocotos”. Un análisis de tamaño del fruto de plantas domesticadas indica que los más pequeños se encuentran en Bolivia, sugiriendo que estos se acercan a tamaños más primitivos comparados con accesiones provenientes de otras localidades. Eshbaugh (1979 y 1982) sostuvo que su origen estaría en las “ulupicas” *C. eximium* y *C. tovarii*, taxones que se encuentran estrechamente relacionados entre sí y con *C. pubescens* (Nuez *et al.*, 2003). Además existen híbridos naturales entre estos taxones documentados y evaluados.



Figura 5. Flor y fruto de *Capsicum pubescens*

1.3. IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA

El cultivo del pimiento, chiles y ajíes está ampliamente distribuido por todo el mundo con una producción mundial de 31.171.567 millones de toneladas (FAO, 2012). Su éxito radica principalmente en su doble uso, como hortaliza o especia, dando lugar a una gran diversidad de usos culinarios, pues su fruto se puede consumir maduro o inmaduro, fresco en ensaladas, y diversas formas derivadas como picadillo, asado, encurtido, relleno o salsas, o deshidratado empleado directamente como frutos secos, polvo de pimentón, oleoresina, escamas mezcladas con semilla, etc. (Rodríguez-Burruezo et al., 2016).

Analizando por separado sus usos principales, como producto seco y producto fresco, el mayor productor a nivel mundial de pimientos y chiles en fresco es China, seguido por México, Turquía e Indonesia. En este mercado España se encuentra en quinto lugar detrás de Estados Unidos con un 4% de la producción mundial. Los mayores productores a nivel mundial de pimiento para su consumo en seco son India, China y Perú (Figura 6).

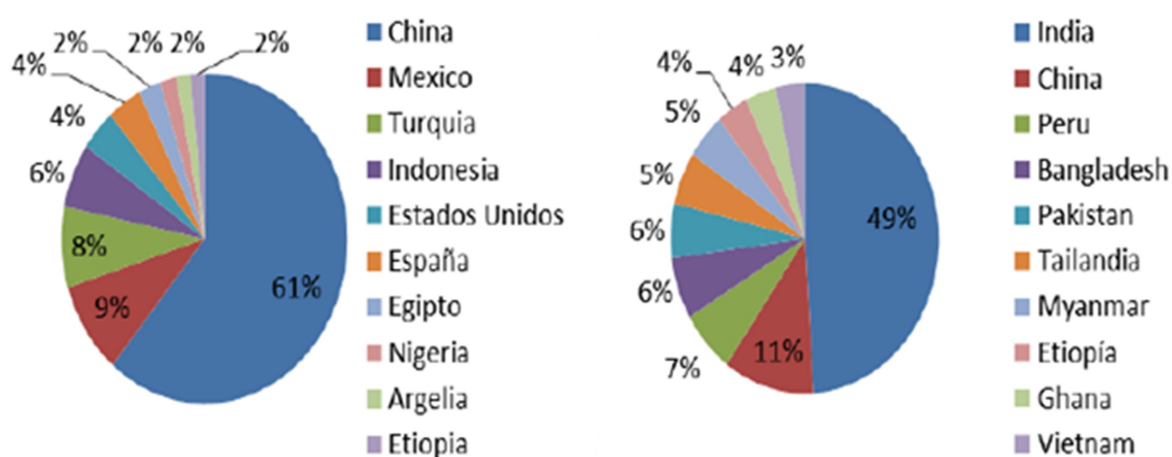


Figura 6. Gráficas porcentuales de la producción de pimientos frescos (izquierda) y secos (derecha) a nivel mundial (FAO, 2012)

España es el mayor productor a nivel europeo de pimiento para consumo en fresco con más de diez mil toneladas producidas en 2012, mientras que Rumania es el líder del mercado de pimiento para consumo en seco con una producción de 48 mil toneladas. Sin embargo, si nos fijamos en datos de rendimiento, son los Países Bajos los que más toneladas por hectárea producen tanto en pimiento para consumo en fresco como para consumo en seco (Figura 7). Esto último es debido a que en los Países Bajos, la mayoría del cultivo se realiza en invernadero con elevada tecnología y consumo energético alto, de manera que la producción se lleva a cabo de manera continua todo el año.

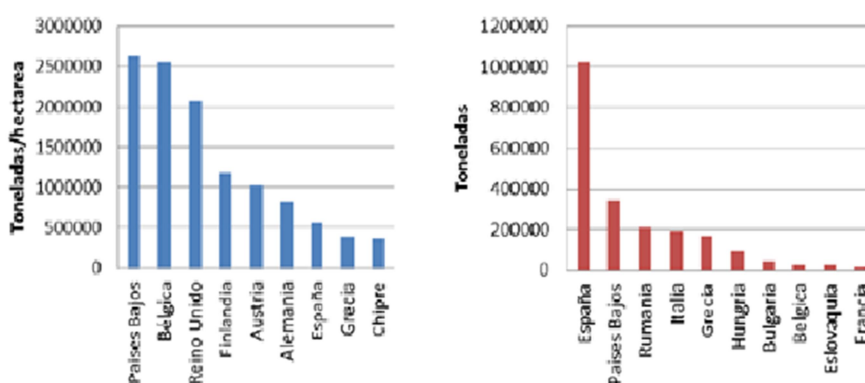


Figura 7. Rendimiento (t/ha) y producción de pimiento para fresco (t) (FAO, 2012)

Atendiendo a las estadísticas, observamos que en la actualidad el cultivo del pimiento y otras formas cultivadas de *Capsicum* constituyen una de las hortalizas más populares y consumidas a nivel mundial. En el área Mediterránea el cultivo del pimiento está fuertemente arraigado en la producción agrícola y en la alimentación especialmente en España, donde es una de las hortalizas de mayor importancia económica y mayor superficie cultivada. En las últimas décadas se ha creado un fuerte tejido productivo en torno a esta hortaliza, alcanzando una importante cota de mercado en Europa de la que se benefician numerosas cooperativas, familias de agricultores y las industrias de transformación asociadas. En España durante el año 2013, el cultivo de pimiento representó el 9% de la producción total de hortalizas seguido del melón, lechuga y sandía, siendo el tomate la hortaliza con mayor producción, con un 37% de la producción estatal (Figura 8).

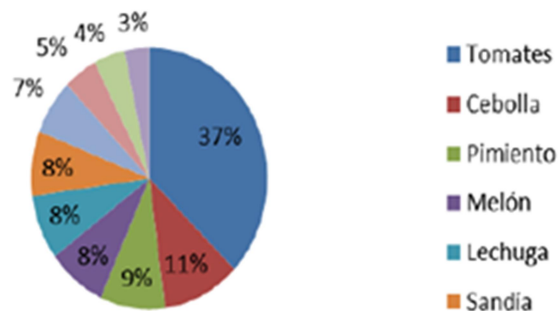


Figura 8. Gráfico porcentual de la producción de los principales cultivos hortícolas en España (MAMAA, 2013)

Atendiendo a la superficie destinada a este cultivo, son la Región de Murcia y la Comunidad Autónoma de Andalucía las que presentan mayor cantidad de superficie cultivada, sumando casi el 50% de la superficie total con 1.749 y 1.694 hectáreas respectivamente. En España se pueden distinguir dos segmentos o bloques productivos de pimiento: por un lado, el bloque relacionado con la exportación y producción masiva, centrado en particular en las regiones de Almería, Murcia y Alicante mientras que de manera más dispersa en las zonas costeras de Valencia y Castellón (Figura 9).

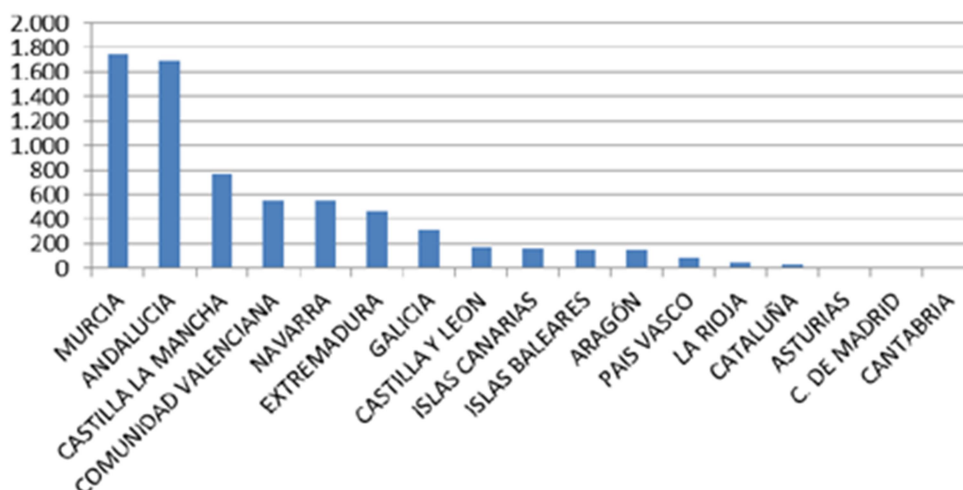


Figura 9. Área total de cultivo de pimiento en España (MAMAA, 2013)

Es en estas provincias donde se concentra la mayor parte de la producción y volumen de exportaciones del país (MAMAA, 2013) centradas principalmente en el cultivo de *C. annuum*, en particular de los tipos morrones como *California Wonder* y *Lamuyo* (en estado verde y en maduro) y los tipos *Dulce italiano* (fundamentalmente en verde), tanto para mercado nacional como de exportación (Figura 10). Estas zonas de producción presentan una alta intensificación y tecnificación, siendo habitual la utilización de invernaderos para continuar con la producción en épocas del año poco favorables, en las que de otra manera sería imposible (Nuez *et al.*, 2003).



Figura 10. Variedades de *Capsicum annuum* más productivas en España: C. Wonder en estado inmaduro, maduro y amarillo (izquierda), Lamuyo en estado inmaduro y maduro (centro) y tipo italiano consumido principalmente en estado inmaduro

También existe otro sector más ligado a una imagen de tradición y calidad, basado fundamentalmente en innumerables variedades o tipos locales, que están arraigados en el acervo cultural y social de diversas regiones de España. Este sector también da cabida a muchos agricultores e industrias asociadas, apareciendo las Denominaciones de Origen (D.O.) e Indicaciones Geográficas Protegidas (I.G.P.) concedidas por la U.E. como es el caso de Piquillo de Lodosa, Pimiento Riojano, Asado del Bierzo, Morrón de Fresno y Benavente, varias denominaciones gallegas (Pimiento de Herbón-Padrón, Arnoia, O Couto), Pimiento de Gernika o los pimentones de Murcia y la Vera de Extremadura. Sin ir más lejos, dentro de las frutas y verduras, el pimiento es el cultivo

que mayor número de denominaciones de origen posee en España (Rodríguez-Burruezo et al., 2016). Esto es el fiel reflejo de la extraordinaria diversidad varietal y de tipos locales existentes en España debido al papel que nuestro país ha desempeñado desde el descubrimiento de América como punto de entrada de pimientos, chiles y ajíes Americanos en el Viejo Mundo. El proceso de adaptación y selección para determinadas condiciones locales y usos particulares, desarrollado por generaciones de agricultores, ha posibilitado que España sea considerado un Centro de Diversidad de gran relevancia para este cultivo, en particular de *C. annuum* (Nuez et al., 2003).

1.4. ASPECTOS MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS

Debido a la gran cantidad de variedades y a las diferentes condiciones de cultivo, existen formas y dimensiones muy variables de la planta, hojas y frutos del pimiento. El pimiento se cultiva como una planta herbácea, perenne con ciclo de cultivo anual de porte variable entre los 0.5 m (determinadas variedades en cultivo al aire libre) y superiores a 2 m (gran parte de los híbridos cultivados en invernadero) (Maroto, 1989; Sádaba *et al.*, 2004).

Sistema radicular

El sistema radicular del pimiento consta de una raíz principal axonomorfa (o pivotante) y profunda (según la profundidad y textura del suelo). De ella se ramifican un conjunto de raíces laterales o adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 cm y 1 m a partir del eje y llegar a tener una profundidad de 60 cm. La distribución no es uniforme, ya que gran cantidad de raíces se encuentran en la parte más superficial del sistema. Dependiendo de la variedad y de las condiciones del cultivo, el peso del sistema radical en una planta adulta de pimiento varía del 7 al 17 % del peso total de la planta (Somos, 1984). Las funciones principales son el anclaje de la planta al suelo, la absorción de agua y nutrientes minerales, el almacenamiento de sustancias de reserva y la síntesis de reguladores de crecimiento.

Tallo y ramas

El tallo y las ramas son los órganos estructurales de la planta. Son ligeramente leñosos y de crecimiento limitado y erecto, por lo cual se mantienen erguidos y no necesitan ser entutorados al aire libre. A partir de cierta altura (comúnmente llamada cruz), emite 2 o 3 ramificaciones (dependiendo de la variedad) y continúa ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo, de manera que los tallos secundarios se bifurcan después de brotar varias hojas, y así sucesivamente. En ambos elementos se ensamblan las flores y las hojas. A través del tallo discurren el agua y nutrientes minerales necesarios para la supervivencia. A través del xilema, la savia bruta discurre desde la raíz hasta las hojas, flores, frutos y ápice de crecimiento. El recorrido efectuado por la savia elaborada desde las hojas hasta el resto de órganos discurre a través del floema. El tallo interviene también en la síntesis de fitorreguladores y en el transporte hacia distintos órganos. También posee actividad fotosintética e interviene en la transpiración e intercambios gaseosos gracias a los estomas.

Hojas

En términos generales son hojas lisas, lanceoladas, brillantes y lampiñas, unidas al tallo por un largo peciolo, con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un peciolo largo y poco aparente (Figura 11). Sus bordes son enteros, aunque pueden verse algo curvados a la altura de la base. El haz es glabro (liso y suave al tacto) y de color verde más o menos intenso (dependiendo de la variedad), y brillante. El nervio principal parte de la base de la hoja, como una prolongación del peciolo, del mismo modo que las nerviaciones secundarias que son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja.

La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto. Su función más importante es la fotosíntesis. Para poder realizar esta función con la mayor efectividad posible, las hojas son planas y delgadas para que la luz penetre en todas las células. Un área foliar excesiva puede resultar dañina para la producción porque puede inhibir la formación de flores.

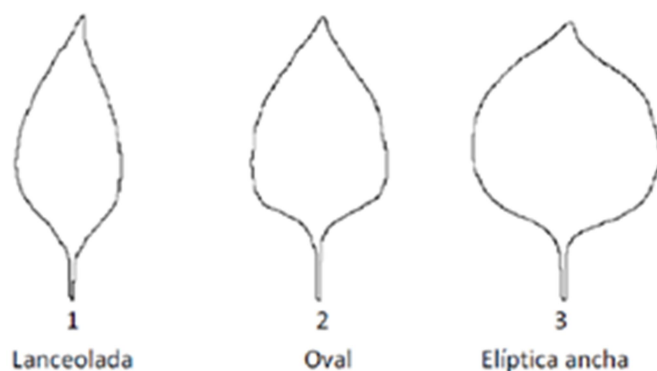


Figura 11. Diferentes formas de hojas de *Capsicum annuum* según la caracterización propuesta por la UPOV

Flores

Las flores de la planta de pimiento son hermafroditas y autógamas, aunque puede presentarse un porcentaje de alogamia que no supera el 10%, se unen al tallo mediante un pedúnculo de 10-20 mm y crecen a menudo solitarias en los nudos con inserción en las axilas de las hojas (Figura 12). Sus pétalos son de color blanco lechoso y los sépalos persisten hasta la maduración del fruto, sobretodo en formas domesticadas de *C. annuum*, *C. baccatum* y *C. pubescens*. En *C. chinense* y *C. frutescens* pueden aparecer dos o más flores por nudo. La superficie del cáliz es rugosa, de color verde amarillento y posee forma de tubo. El número de pétalos y sépalos suele ser cinco, aunque puede variar entre las flores de una misma planta. La corola tiene un diámetro de 10-20 mm y puede variar de color según la especie. El ovario comprende de 2 a 4 carpelos que darán lugar a las costillas del fruto. Las anteras adquieren tonos azulados oscuros.



Figura 12. Flor del pimiento en la inserción de la hoja

Fruto

El fruto del pimiento se define como una baya. Su interior es hueco, en forma de cápsula. Tiene dos partes diferenciadas: el pericarpio y el tejido placentario. El pericarpio es la parte externa continuada por tres capas: el epicarpio (capa más externa), mesocarpio (capa intermedia carnososa) y el endocarpio (capa membranosa interna). El tejido placentario es el lugar donde se desarrollan los óvulos que darán lugar a las semillas durante la formación del fruto. Constituye el lugar donde se forma la capsaicina. Este proceso empieza a desarrollarse a los pocos días del cuajado y en mayor proporción cuando el fruto cambia de color.

En la región capsular externa se pueden diferenciar tres partes: base, cuerpo y ápice. La base del fruto es la zona de unión con el pedúnculo y puede ser de forma cóncava, plana o convexa. El cuerpo del fruto es asurcado y con depresión transversal. La sección longitudinal presenta gran variedad de formas (Figura 13). La sección transversal puede ser circular o poligonal. El ápice suele estar cerrado y adopta distintas formas: apuntada, redondeada, hundida, etc. La forma externa del fruto abarca gran cantidad de tipos: alargada, oblonga, redondeada, cónica acampanada, rectangular, etc. Respecto al color, el estado inmaduro presenta gran variedad de colores (blanco-amarillo, verde claro, verde oscuro, verde-azulado, verde-marrón). En cambio el estado maduro comprende dos grupos principales: amarillos y rojos (Figura 14).

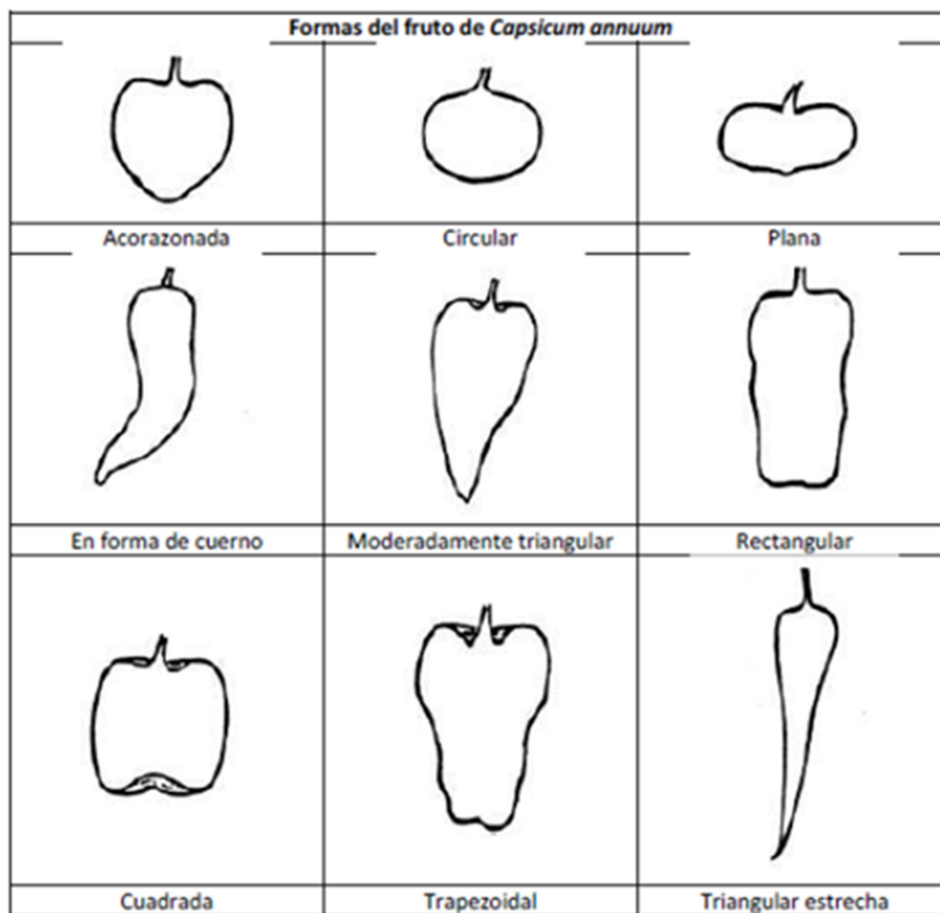


Figura 13. Forma externa del fruto de *Capsicum annuum*

El grosor del pericarpio varía según la especie y determina el uso del fruto. Así los frutos con pericarpio grueso suelen cultivarse como hortalizas y los pimientos con poca carne se suelen usar como especias. Su tamaño es variable, pudiendo pesar desde escasos gramos hasta más de 500 g (Kadri Bozokalfa y Kilic, 2010).



Figura 14. Frutos maduros de *Capsicum annuum*

Semillas

La forma de las semillas es aplastada hemidiscoidal de 4-5 mm de diámetro y de color blanco-amarillento. Se encuentra en la parte central del fruto (corazón) insertas en una placenta cónica. Todas las especies cultivadas de *Capsicum* tienen las semillas de color amarillo, excepto *C. pubescens*, cuyas semillas son oscuras (negras o marrones) (Figura 15).

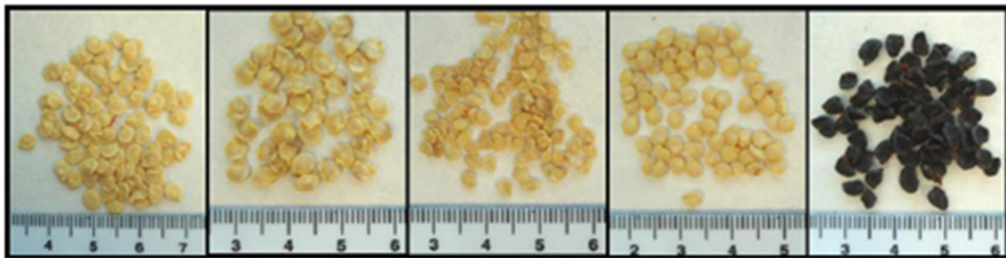


Figura 15. Semillas del Género *Capsicum* de izquierda a derecha: *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* y *C. pubescens*

1.5. CONDICIONES DE CULTIVO DEL PIMIENTO

El cultivo de pimiento es exigente de altas temperaturas, creciendo mejor cuando son cálidas a excepción del pimiento de Padrón, sin embargo es muy poco exigente en el fotoperiodo, pero muy exigente en cuanto a la intensidad lumínica, sobre todo en el período de floración. La falta de luminosidad provoca ahilamiento, caída de flor y gran producción de hoja. Las condiciones de crecimiento implican temperaturas mínimas de 14 °C, y máximas de 35 a 40 °C, siendo las temperaturas óptimas diarias de entre 20 y 25 °C y las nocturnas de 16 a 18 °C, helándose la planta a 0 °C. Durante el cuajado se precisan temperaturas mínimas comprendidas entre los 18 y 20 °C, siendo la óptima de 25 °C y la máxima de 35 °C. Atendiendo a la humedad relativa, ésta debe ser superior al 50%, aunque en período de crecimiento admite humedades relativas superiores a 70%, pero durante la floración y el cuajado la humedad relativa óptima está entre 50-70%. Con humedades superiores se corre el riesgo de padecer enfermedades criptogámicas, la planta detiene su crecimiento por debajo de 10 °C y por encima de 35 °C, cuando la humedad relativa es baja y aguanta hasta los 40 °C, si la humedad relativa ronda el 70% (Gil-Ortega *et al.*, 1990).

Para establecer el cultivo es necesario aplicar unas labores preparatorias al suelo para que se adapte correctamente. El suelo no debe presentar problemas de impermeabilidad, ya que el cultivo es muy sensible a los encharcamientos. Tampoco se deben superar una pendiente superior al 2 %. Es recomendable que en la parcela no hayan existido en los cinco años previos cultivos de Solanáceas o Cucurbitáceas. Se realizará un subsolado a unos 50-70 cm de profundidad para romper las capas profundas y favorecer el drenaje. A continuación se procede al volteo del suelo con arado de vertedera, de tal manera que se rompa las capas superficiales (25-40 cm) y remover los restos vegetales de cultivos anteriores, formando así una capa más esponjosa. Los suelos más adecuados para el cultivo del pimiento son los franco-arenosos, profundos, ricos, con un contenido en materia orgánica alto y principalmente bien drenados. Los valores de pH óptimos oscilan entre 6.5 y 7, aunque puede resistir ciertas condiciones de acidez (hasta un pH de 5.5). En suelos enarenados puede cultivarse con valores de pH próximos a 8. En cuanto al agua de riego, el pH óptimo es de 5.5 a 7 (Escobar, 1993; Gamayo, 1996; Moreno *et al.*, 2003; Vidal, 2003; Garrido, 2009).

El pimiento es, en comparación con sus parientes el tomate o la berenjena, muy sensible a la salinidad, tanto en la concentración de sales de la solución del suelo como la aportada por el agua de riego, de manera que es más sensible a presentar Blossom-End Rot así como necrosis apical en los frutos (Ho and White, 2005). El problema que genera la salinidad es que se produce una disminución en la capacidad de absorber agua de la planta, debido a que las sales de la zona radicular provocan una disminución del potencial hídrico del suelo, por lo que a la planta le resulta muy difícil tomar el

agua que necesita (Fernández-Ballester et al., 1997). Todo ello por tanto provoca una disminución en el crecimiento de la planta. Además, estudios previos muestran que la salinidad provoca la caída prematura de las hojas más viejas debido a la acumulación de sales en ellas con lo que además veremos una disminución de la capacidad fotosintética de la planta debido a esta pérdida foliar (Munns y Tester, 2008).

El abonado clásico del cultivo del pimiento debe tener en cuenta algunas consideraciones como las características químicas del suelo y el tipo de riego que se va a realizar. Los aportes en nitrógeno deben ser aplicados en forma nítrica y en forma amoniacal. Cabe destacar que para favorecer la floración y el cuajado se debe reducir el nitrógeno, y subir el fósforo, el potasio y el magnesio. En la floración se debe mantener una relación K/Mg de 5. Un equilibrio adecuado de N-P₂O₅-K₂O es 1-0.6-(1.3-1.5), con una conductividad no superior a 2-2.5 ds/m. A partir del engorde del fruto la relación N/K=1/1.5-2 (Escobar, 1993; Cavero *et al.*, 1994; Fonseca *et al.*, 2005). Se suele realizar un abonado de fondo de 50 kg/1000 m² de un abono complejo tipo 12-12-17, libre de cloro, y a ser posible con la potasa en forma de sulfato. Y el abonado de cobertera se realizará en caso de suelos ricos en materia orgánica (Céspedes *et al.*, 1999), después del cuajado de los primeros frutos, aportando un equilibrio de 1-1-1.5, en caso de suelos pobres en materia orgánica.

Habitualmente la planta se obtiene en semilleros para más tarde proceder a su trasplante en campo, el cual suele hacerse a mano, con plantas a raíz desnuda y cuando las temperaturas son buenas. Seguidamente, se aplica un riego abundante para que las plantas puedan sobrevivir.

1.6. ACCIDENTES, PLAGAS Y ENFERMEDADES

El cultivo del pimiento se puede ver afectado por diversas patologías (entomológicas, víricas) y fisiopatías, que perturba el normal desarrollo de la planta, su rendimiento y calidad de sus frutos. Las diferentes afecciones, sintomatología y métodos de tratamiento, han sido descritos por diversos autores (Gil-Ortega *et al.*, 1990; Gázquez Garrido y Soler Rodríguez, 2008).

1.6.1. Fisiopatías

Para que el cultivo se desarrolle correctamente es necesario que se den ciertas condiciones apropiadas tanto climáticas (luz, humedad, temperatura y viento) como agronómicas (estructura del suelo, nutrientes, pH). La falta de adaptación del cultivo a dichas condiciones, puede producir fisiopatías que afectan a diferentes partes de la planta.

Agrietamiento o rajado del fruto (fruit cracking):

La aportación irregular de agua al cultivo de pimiento produce muchas veces en el mesocarpio de algunos frutos grietas en el fruto; con frecuencia ocurre en cultivos al aire libre cuando se produce un exceso de humedad. Las grietas se forman cuando el mesocarpio acumula agua y se hincha, así que la epidermis no puede soportar la presión y se rompe. Se encuentran grietas irregulares (alrededor del pedúnculo), longitudinales (a lo largo del pericarpio) y en la zona apical del fruto. A partir del agrietamiento del fruto pueden producirse ataques de microorganismos que dan lugar a la pudrición del fruto, de manera preventiva se recomienda realizar aportes regulares de agua al cultivo (Aloni *et al.*, 1999).

Stip

Esta fisiopatía es debida a un desequilibrio entre los niveles de calcio y magnesio, la cual se manifiesta en los frutos mediante la aparición de unas manchas cromáticas en la carne. Se acentúa en condiciones de poca luminosidad, bajas temperaturas y exceso de humedad y nitrógeno. No todas las variedades son igual de sensibles.

Necrosis y podredumbre apical (blossom-end rot)

Se origina a causa de una deficiencia en calcio durante el desarrollo del fruto y es más común cuando el suelo tiene bajos niveles de este mineral. Puede producirse además cuando existen diferencias importantes en la humedad del suelo (ya sea por exceso o defecto) durante el crecimiento del fruto. Con niveles elevados de fertilizantes nitrogenados, potasio y magnesio, también se desarrolla necrosis. Se manifiesta con la aparición de una mancha parda en las proximidades del ápice, primero humedad y luego seca (Van Derweken y Wilcox-Lee, 1988). El ápice puede ser atacado por hongos saprófitos o bien por parásitos que afectan al pericarpio. Es recomendable aplicar medidas preventivas como controlar los riegos, los abonos y el uso de variedades tolerantes.

Salinidad y riego deficitario

Tanto la salinidad como el estrés hídrico conllevan la aparición de Blossom-End Rot así como necrosis apical en los frutos, debido a que el estrés salino e hídrico provocan la pérdida de iones, como el calcio, lo que genera problemas metabólicos, viéndose más afectadas aquellas partes de la planta con crecimiento rápido, como es el caso de los frutos. Durante el crecimiento del fruto no hay suficiente Ca^{2+} disponible, e incluso una distribución aberrante del mismo en la célula lo que genera necrosis en la zona apical del fruto (Ho and White, 2005).

Hemos de tener en cuenta además lo antes citado, y es que la salinidad provoca una importante disminución del potencial hídrico del suelo, por la que la planta tiene problemas de transpiración, no pudiendo extraer agua suficiente del suelo (Fernández-Ballester et al., 1997). Todo ello provoca por tanto la caída prematura de las hojas más viejas, que son las que más transpiran y acumulan las mayores concentraciones de sales, principalmente Ca^{2+} y Na^+ , llegando a ser tóxico para la planta si estas concentraciones son muy elevadas, inhibiendo la síntesis de carbohidratos, de manera que si el nivel de hojas viejas que se cae es más elevado que la producción de hojas nuevas, la planta muere (Munns y Tester, 2008).

En cuanto al déficit hídrico, los estudios realizados muestran que provoca cambios similares en la planta al estrés salino, con una disminución en el crecimiento radicular debido a señales hormonales provocadas por las mismas raíces por lo que esto provoca dificultades en encontrar genes de tolerancia a salinidad y estrés hídrico, ya que es difícil diferenciar una de otra (Munns y Tester, 2008).

1.6.2. Plagas

Ácaros

Los ácaros que más daño producen en el cultivo del pimiento son los que pertenecen a las familias *Tetranychidae* y *Tarsonemidae*. En los últimos años se ha observado un aumento del ataque de estas plagas probablemente debido a un incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados, pero sobre todo al empleo sin control de productos fitosanitarios (Jeppson *et al.*, 1975).

De las especies identificadas de tetránquidos, la más dañina para el cultivo del pimiento es el *Tetranychus urticae* comúnmente conocida como araña roja. El ciclo completo comprende tres estados de desarrollo: huevo, larva, protoninfa, deutoninfa y adulto. Para alimentarse, la araña roja clava el estilete en las hojas vaciándolas de su contenido, lo que provoca que queden de color amarillento. Si la población es grande, el resto de órganos de la planta son también atacados, de forma que el crecimiento se detiene y la planta queda cubierta con densas telas sedosas (Lacasa, 1990). La araña blanca, *Polyphagotarsonemus latus* (Banks), es otra de las especies dañinas dentro de la familia de los tarsonémidos. Los daños son producidos por larvas y por adultos. El ataque en las flores provoca la formación de frutos deformes e inservibles (Tello y Lacasa, 1982). En los frutos aparece un acostramiento y en casos extremos se produce un rajado que deja al descubierto el interior del fruto (Rodríguez, 1990).

Nematodos

La afección de *Meloidogine* es bastante común (PDHPC, 2007); provoca agallas en las raíces que impiden su normal funcionamiento. Se puede controlar mediante la desinfección del suelo o biofumigación, antes de la plantación del cultivo de pimiento

Pulgones

Los pulgones clavan el estilete en los tejidos vegetales para alimentarse, sobre todo de órganos tiernos y en desarrollo y cuando esto sucede, liberan melaza a través del sifón, lo cual provoca el ataque de hongos saprofitos, conocidos como “negrilla”. Entre los pulgones que afectan al cultivo en mayor medida se encuentran: *Myzus persicae* (Sulzer) también llamado el pulgón verde del melocotonero o durazno. Los adultos de este pulgón pueden ser alados o ápteros y son de color verde con manchas longitudinales oscuras. La temperatura óptima para su desarrollo es de 26°C y con temperaturas superiores a 30°C, no se pueden reproducir (Belda, 1991). Otra especie es *Aphis gossypii* (Glover) o pulgón del algodón. Al igual que el pulgón verde, es una especie muy cosmopolita que habita sobre todo en las zonas cálidas y templadas. La temperatura óptima para su desarrollo es de 21°C, aunque soporta temperaturas más altas, lo cual hace que su dispersión en invernaderos sea más fácil (Roff *et al.*, 2006).

Trips

Pertenecen al orden *Thysanoptera*. Son insectos de pequeño tamaño (1-2 mm), de forma alargada-cilíndrica, poseen alas estrechas, membranosas y con pelos, de ahí el nombre de tisanópteros (del griego *thysanos*, que significa dlecos y *pteron* que significa ala) (Rodríguez, M.D., 1991).

Los trips clavan su estilete en las paredes de los tejidos epidérmicos y seguidamente absorben los jugos celulares. Como consecuencia las células se vuelven de color marrón debido al necrosamiento del tejido. Atacan tanto a frutos como a hojas y flores, pudiendo encontrar todos los estados del insecto en ellos a la vez. Otro daño que producen es el desecamiento de las hojas debido a la puesta de huevos. Los trips resultan especialmente dañinos al transmitir el TSWV (Tomato Spotted Wilt Virus) que es muy perjudicial para el cultivo del pimiento (Hansen *et al.*, 2003).

1.6.3. Enfermedades

Hongos

Phytophthora capsici (“Phytophthora root rot”):

Es el hongo causante de enfermedad más importante del pimiento (Gil Ortega, 1990). Conocido como tristeza seca, ataca a cualquier parte de la planta, aunque los daños más importantes se producen cuando ataca al cuello. Estos ataques están relacionados con parcelas excesivamente regadas o con mal drenaje, lo cual facilita el desarrollo del hongo en el suelo.

Oidiopsis, ceniza o polvillo (*Leveillula taurina*; “Powdery mildew”):

Producida por *Leveillula taurina*. Provoca decoloraciones circulares amarillentas en el haz de las hojas y posteriormente su necrosamiento. En el envés se forman puntos necróticos que pueden aparecer cubiertos de moho blanco. Empieza primero atacando las hojas viejas y después las jóvenes. Esta enfermedad se da sobre todo en climas cálidos (20-30 °C) y con humedades relativas de 70 -80%.

Fusarium oxysporium:

Este hongo penetra por las raíces y se instala en el sistema vascular, observandose un pardeamiento de los vasos al realizar un corte transversal. Es considerado como un hongo oportunista, ya que ataca plantas previamente debilitadas por ataque de otros

hongos, bajas temperaturas, encharcamiento o por heridas de diversa naturaleza. Se desarrolla con temperaturas y humedad relativa altas. Para combatir la enfermedad se emplea la biofumigación o desinfección de suelo antes de la plantación.

Botritis o podredumbre gris (*Botrytis cinerea*; “gray mold rot”, “Botrytis rot”)

Causada por el *Deuteromiceto Botrytis cinerea*. Ataca a los órganos tiernos como pueden ser las hojas, tallos y flores. Se manifiesta en forma de moho gris, principalmente en las hojas. Actúa de forma que impide el transporte de savia y hace que la planta se marchite y posteriormente provoca la muerte de la zona situada por encima de la lesión. No suele atacar al fruto, pero cuando lo hace se forma una mancha circular blanda de color marrón claro, que se va oscureciendo a medida que avanza el desarrollo. Una humedad superior al 80 % y temperaturas entre 18°C y 23°C favorecen el crecimiento del hongo.

Verticillium dahliae

Este hongo se conserva en el suelo casi indefinidamente, gracias a sus micro-esclerocios. La temperatura ideal para su desarrollo en suelo es de 18-24 °C, aunque también ataca con 30 °C. No produce necrosis al penetrar en la planta. Este hongo se localiza en los vasos conductores de savia, taponándolos y produciendo marchitez (tristeza), si se descubren los vasos en unos segundos toman color marrón.

Virus

TSWV (virus del bronceado del tomate)

Se manifiesta en forma de anillos necróticos en las hojas del brote, pudiendo presentar dibujos geométricos de color verde claro o amarillento en las hojas. Los frutos presentan manchas en forma de anillos concéntricos y son de color verde claro o amarillento. Los trips actúan como vector transmitiendo el virus.

PMMoV (Virus del moteado suave del pimiento)

Las plantas afectadas por este virus presentan enanismo, especialmente si la infección se produce en estado de plántula. En las hojas apicales se produce una

clorosis suave y un mosaico foliar en forma de manchas verdes muy suaves. Los frutos pueden reducir su tamaño, deformarse y presentar mosaico, abullonaduras y necrosis. Se transmite de forma mecánica, y la principal fuente de infección es el suelo sobre todo si hay residuos vegetales infectados, además, las semillas pueden conservarse infectadas.

Otros virus

Otros virus importantes son el CMV (virus del mosaico del pepino), transmitido a través de los pulgones, cuyos síntomas característicos son la aparición en hojas adultas de manchas cloróticas o necróticas en forma de anillos concéntricos (Ben-Chaim *et al.*, 2001) y el ToMV (Virus del mosaico del tomate), presente en la mayoría de países donde existe el cultivo del tabaco y tomate caracterizándose por la aparición de un fuerte moteado de color verde claro o amarillento y provocando un ligero rizamiento en las hojas, dando lugar a una reducción del tamaño de la hoja. La transmisión se efectúa de forma mecánica por contacto con objetos o plantas infectadas.

Como en la mayoría de las enfermedades provocadas por virus, lo más efectivo para erradicar la infección es aplicar medidas preventivas. Se recomienda controlar los intercambios vegetales y realizar pruebas de sanidad para evitar que plantas infectadas contagien a plantas sanas. También resulta efectivo luchar contra el vector mediante métodos físicos, químicos y biológicos (Soler *et al.*, 1999).

1.7. CALIDAD DEL FRUTO EN PIMIENTO (*Capsicum spp.*)

1.7.1. Calidad Externa

Existen numerosos caracteres relativos a la calidad externa del fruto en el género *Capsicum*, aunque probablemente los más importantes sean el color, la forma y el tamaño. En este sentido, el género *Capsicum* es extraordinariamente variable y comprende una amplia variedad de tamaños formas y colores. La apariencia externa de los frutos y su uniformidad, junto al rendimiento y la resistencia a enfermedades, son algunos de los criterios más importantes aplicados por las compañías de semillas para seleccionar nuevas variedades, debido al importante papel que juega la percepción visual en la venta de un producto vegetal.

En opinión de Namesny (2006), el mercado de exportación centra sus preferencias en los pimientos dulces cortos del tipo california en todas sus coloraciones: verde (Alemania y Dinamarca), rojo (Francia y Suecia), amarillo (Italia) y, recientemente, naranja. Existe en el mercado nacional cierta preferencia por lo tipos locales o tradicionales, siendo los más representativos Bierzo, Najerano, Valenciano y los pequeños Piquillo y Guindilla.

1.7.2. Calidad nutricional

Shewfelt (2000), indica que el valor nutritivo de un alimento es el grado de utilidad que posee para satisfacer los requerimientos de diversas sustancias necesarias para el buen funcionamiento del organismo y la prevención de enfermedades. Bajo esta concepción se incluyen tanto los macronutrientes (glúcidos, lípidos y proteínas) como otros compuestos presentes a menor concentración como vitaminas, minerales, carotenoides y polifenoles.

El pimiento es relativamente pobre en macronutrientes. Entre los carbohidratos contiene diversos azúcares reductores, pentosas y fibra dietética. El contenido en fibra puede alcanzar hasta el 20% de la materia seca del pericarpio (Bosland y Votava, 2000) y según McKee (1998) la piel puede contener un 80% de fibra total. El contenido en lípidos es bajo, en torno a 400 mg/100 g en peso fresco, con un 80% en grasas y un 16% en glicolípidos (Bosland y Votava, 2000). Entre los ácidos grasos predomina el linolénico. Finalmente, respecto al nivel proteico, Somos (1984) describe un contenido en el pericarpio del 17% en peso seco y predominan los aminoácidos leucina, alanina y los ácidos glutámico y aspártico.

Frente a esto, el pimiento es conocido por sus aportes en varias vitaminas y precursores de las mismas, así como numerosos pigmentos y flavonoides para los que se han descrito efectos beneficiosos para la salud (DeWitt y Bosland, 1996). El

genotipo, las prácticas culturales o el ambiente son factores muy importantes para la mayoría de compuestos nutricionales en *Capsicum* (Bosland y Votava, 2000). Además, dado que estos frutos pueden consumirse en diversos estados de madurez, éste es un aspecto a tener en cuenta pues, en general, el valor nutricional es mayor en frutos totalmente maduros (Bosland y Votava, 2000; Howard *et al.*, 2000; Gnyafed *et al.*, 2001; Russo y Howard, 2002).

Vitaminas

Según Belitz y Grosch (1997) las vitaminas son componentes esenciales de los alimentos cuyo aporte adecuado es imprescindible para el normal funcionamiento del organismo humano.

Actúan como coenzimas y cofactores, e intervienen en numerosas reacciones metabólicas que se producen en el organismo, realizando fundamentalmente una función reguladora y protectora (Kuklinski, 2003).

Hasta la fecha se han descrito trece vitaminas y su estructura es heterogénea, por lo que la clasificación más extendida es en base a su solubilidad (Kuklinski, 2003):

Vitaminas liposolubles: vitaminas A, D, E y K

Vitaminas hidrosolubles: vitaminas C y vitaminas del complejo B.

El organismo sólo presenta reservas de vitaminas liposolubles, pero estas reservas son pequeñas por lo que tanto las vitaminas liposolubles como hidrosolubles deben ser consumidas cada día. En general, los vegetales contienen una mayor proporción de hidrosolubles que de liposolubles, situación que se invierte en los alimentos de origen animal (Badui, 2006).

El pimiento es una fuente importante de diversas vitaminas o precursores de las mismas. Por su elevado aporte a la dieta es importante destacar las vitaminas A, C y E (Raigón, 2007).

La vitamina A no existe en los vegetales como tal, pero sí como sus provitaminas o precursores carotenoides, de los cuales existen más de 500 (Badui, 2006). Su carencia inhibe el crecimiento, produce el endurecimiento del epitelio en varias partes del cuerpo, principalmente de los sistemas respiratorios, visual, reproductivo y urinario, y afecta la estructura ósea y dental. Está considerado el compuesto más efectivo en la prevención de la xeroftalmia en los niños (del griego "ojos secos", que conlleva una disminución de la transparencia de la córnea) y la ceguera nocturna de adultos. En general, los pigmentos aportan dosis elevadas de sus precursores α -caroteno, β -

caroteno, γ -carotenos, β -criptoxantina, llegando a satisfacer hasta un 25-40 % la dosis diaria recomendada en 100 gr de fruto fresco. Entre todos ellos, β -caroteno es el precursor más efectivo y puede suponer hasta el 90 % del aporte de provitamina A en pimientos maduros (Howard *et al.*, 1994; Latham, 2002).

La vitamina C, fundamentalmente en forma de ácido L-ascórbico, es esencial para evitar el escorbuto, enfermedad que produce hemorragias frecuentes en encías y que, en cuadros clínicos graves, puede desembocar en la muerte. Además, el ácido ascórbico está reconocido como uno de los agentes antioxidantes más potentes que existen en los productos vegetales. El contenido en ácido ascórbico suele ser muy alto en pimientos y es uno de sus factores de calidad nutricional más importantes. De hecho, este compuesto fue aislado por primera vez en 1928 a partir de frutos de pimiento por el investigador húngaro Albert Szent, Premio Nobel en 1937 por su trabajo con el ácido ascórbico. En muchas variedades bastan 50 g de fruto fresco para satisfacer la dosis diaria recomendada (DDR: 25-45 mg) para esta vitamina. Los niveles de vitamina C dependen no sólo del genotipo sino también, en gran medida, del estado de madurez del fruto. Así, el contenido en ácido ascórbico aumenta con la maduración del fruto, siendo máximo en el estado de plena madurez (Bosland y Votava, 2000). En frutos deshidratados el contenido en ácido ascórbico es inapreciable. Así, probablemente por su naturaleza hidrosoluble y extremadamente lábil, este carácter no es un objetivo de mejora en derivados como el pimentón a las oleorresinas.

El ácido ascórbico es esencial para la producción de colágeno, proteína que mantiene la estructura corporal y constituye en gran medida a la cicatrización de las heridas. Esta vitamina también es vital para la salud de la piel; retarda la aparición de arrugas y también de otras afecciones relacionadas con la edad, como la artritis. Refuerza el sistema inmunológico, alivia las alergias y estimula la producción de varias hormonas. Es una de las vitaminas que más se toman como complemento (Scott-Moncrieff, 2000).

Compuestos fenólicos

Los polifenoles son compuestos que se hallan ampliamente distribuidos en el reino vegetal. Se trata de metabolitos secundarios que desempeñan una gran diversidad de funciones en la plantas, contribuyendo a la defensa frente a plagas y factores de estrés, así como, el sabor, aroma y color de las frutas y hortalizas (Espín de Gea y Tomás-Barberán, 2006).

En los últimos años los compuestos fenólicos han atraído el interés de los investigadores por ser poderosos antioxidantes que pueden proteger al cuerpo humano de radicales libres, derivados del metabolismo natural de las células aeróbicas (Bors *et al.*, 1996; Halliwell, 1996). Datos epidemiológicos han indicado efectos

beneficiosos de compuestos antioxidantes en la prevención de cáncer, enfermedades cardiovasculares y desordenes neurodegenerativos (Harborne y Williams, 2000; Ferrari y Torres, 2003; Hollman y Katan, 1999).

Los flavonoides son el grupo más abundante entre los polifenoles (más de 5.000 compuestos) y se les atribuye una importante actividad antitumoral, antioxidante y antivírica (Hertog *et al.*, 1992; Kaul *et al.*, 1985; Lee *et al.*, 1995). Existen seis grandes familias: antocianos, flavanoles, flavonoles, flavonas e isoflavonas. En pimiento, los flavonoides más importantes son la quercetina (flavonol) y la luteolina (flavona). El interés de los investigadores por el contenido de estos compuestos fenólicos en pimiento es relativamente reciente y existen algunos estudios interesantes. No está claro cómo afecta el estado de madurez a los niveles de estos fenoles. Así, mientras que algunos autores señalan que son mayores en fruto verde (Lee *et al.*, 1995; Marín *et al.*, 2004), otros como Horward *et al.* (2000) han descrito niveles similares entre frutos maduros e inmaduros.

Carotenoides

Los pigmentos carotenoides son fundamentales para la calidad del pimiento como colorante alimentario. Los carotenoides presentes en los frutos de *Capsicum* poseen, además, reconocidos efectos beneficiosos como antioxidantes, precursores de vitaminas o agentes antitumorales (Wall *et al.*, 2001). Entre los que presentan niveles nutricionalmente apreciables destacan capsantina, beta-caroteno, luteína y zeaxantina. La capsantina, además de ser el carotenoide más abundante en las variedades de fruto rojo, es el que presenta la actividad antioxidante más intensa y de efecto más prolongado y previene las cataratas y procesos degenerativos de la mácula ocular (Seddon *et al.*, 1994; Matsufuji *et al.*, 1998). Beta-caroteno es un importante precursor de la vitamina A y la Luteína reduce el riesgo de enfermedades coronarias que junto a su isómero zeaxantina, es fundamental en la protección del ojo a la radiación solar (Lee *et al.*, 2005). La luteína sólo tiene interés nutricional en frutos inmaduros, pues desaparece en la maduración y, en consecuencia, no es un objetivo de mejora para variedades consumidas en estado maduro.

La pigmentación en los frutos de *Capsicum* está determinado por la acción de varios genes, los cuales regulan la degradación de las clorofilas y la formación de cetocarotenoides, controlando la acumulación de pigmentos en los cromoplastos. Estos genes son *Y*, *C1*, *C2* y *CL*. Por un lado, el locus *Y* es el responsable de que el color final del fruto derive a rojo (*Y+*, dominante) o amarillo (*y*, recesivo), favoreciendo la síntesis de uno u otro tipo cromático de carotenoides. De forma complementaria, los genes *C1* y *C2* controlan el nivel de acumulación de los carotenoides determinados por *Y*, confiriendo una intensidad mayor (*C1+* y *C2+*) o menor (*c1* y *c2*) al color final del fruto maduro (Llacer *et al.*,).

El gen *CL* determina el proceso degradativo de las clorofilas durante la maduración. El alelo dominante *CL+* de este gen garantiza una degradación normal de las clorofilas y el alelo *cl* mutante evita que las clorofilas en homocigosis sean degradadas, provocando la retención de estos pigmentos durante la maduración denominándose este fenómeno como CR, de "chlorophyl retaining". Es por ello que muchas variedades como "Negral", "Mulato" o "Pasilla" producen frutos con un color marrón característico cuando han madurado, como consecuencia de la combinación del color rojo de los carotenoides con el verde de las clorofilas (DeWitt y Bosland, 1996; Nuez *et al.*, 2003).

1.8. CAMBIO CLIMÁTICO

Se trata del problema ambiental, social y económico más grave que ha vivido la humanidad, no siendo ya de una amenaza potencial, sino que es una evidencia. A partir de la revolución industrial la corteza terrestre ha sufrido un incremento de la temperatura. Existen evidencias científicas que demuestran la relación entre el cambio climático y la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Actualmente la concentración de GEI es de unas 430 ppm frente a las 280 ppm que había antes de la revolución industrial (Stern, 2006). Si la tasa de emisiones de GEI continúa a este ritmo, para el año 2035 se alcanzaría las 550 ppm, lo cual implica que se alcanzaría casi el doble de las tasas preindustriales, lo cual no se ha alcanzado nunca. Se piensa que esta tasa conllevaría un incremento de al menos 2 °C.

El cambio climático altera el ciclo del agua, de manera que se refuerzan los patrones de escasez y abundancia de dicho elemento imprescindible para la vida. A nivel global se puede decir que las precipitaciones han aumentado debido a la aceleración del ciclo del agua y al incremento de la temperatura, lo cual se puede apreciar en la intensidad de los ciclones y tormentas tropicales (The World Bank, 2010). Incluso se está viendo que el nivel de los océanos está subiendo, concretamente, 1.8 mm anuales desde 1961, y a partir de 1993 3.6 mm anuales, debido principalmente al derretimiento del hielo de los casquetes polares (Tickell, 2009). Hay que destacar que los efectos del cambio climático no se están produciendo de manera uniforme por todo el globo, sino que es en los polos donde se están produciendo los mayores incrementos de temperatura. Desde 1980 el ártico pierde sobre el 10% de su capa de hielo permanente cada 10 años (La documentation française, 2010).

Tanto los cultivos, como bosques y pastizales, los cuales ocupan alrededor del 60% de la superficie terrestre, se están viendo afectados por la variabilidad climática (FAO, 2007).

1.9. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA HUMANIDAD

Bridge en 2009 afirmaba que los efectos del cambio climático están desigualmente distribuidos, constatando el hecho de que los más pobres sufrirán primero y más.

Son los países pobres y las personas más pobres de los países en desarrollo, los cuales dependen de la agricultura y de los recursos naturales, los que más afectados se verán. El incremento en el nivel del mar amenaza zonas costeras densamente pobladas y pequeños Estados insulares como Indonesia, que puede llegar a perder incluso 2000 islas pequeñas (UNFPA, 2009).

1.9.1. SEGURIDAD ALIMENTARIA

“Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana “ (FAO, 2006).

La agricultura representa el 24% de la producción mundial, empleando el 22% de la población mundial y ocupa el 44% de la superficie terrestre (Bridge, 2008). Hay una serie de factores que amenazan seriamente la seguridad alimentaria tales como la pérdida de biodiversidad, subida en el precio de los alimentos, alteraciones en el suministro de agua, sequía, inundaciones y bajadas en la producción agrícola.

La producción de alimentos es muy sensible a las condiciones climáticas, ya que el rendimiento agrícola está muy influenciado por el ambiente. Incluso en las zonas tropicales pequeños aumentos de temperatura causarán una disminución en el rendimiento agrícola. El cambio climático además conlleva problemas de degradación de los terrenos de cultivo y salinización (Pimentel, 2006; Pimentel & Pimentel, 2006) así como pérdida de nutrientes del suelo (Drechsel, Gyiele, Kunze, & Cofie, 2001).

Hemos de tener en cuenta que según la OMS, junto con otras agencias dicen textualmente: *“El conocimiento cada vez mayor del cambio climático está transformando nuestra percepción de los límites de la salud humana y de los factores que la determinan”* (OMS/OMM/PNUMA, 2003), es decir, el cambio climático está afectando a la salud humana de muy diversas maneras, incluso indirectamente, como ocurre con la calidad del aire, y la disponibilidad y calidad de los alimentos.

1.9.2. DISPONIBILIDAD DE AGUA DULCE

“El cambio climático amenaza los elementos básicos de la vida de las personas en todas partes del mundo- acceso al agua, al alimento, a la salud al uso del suelo y del medio ambiente. Si continúan las actuales tendencias, las temperaturas podrían subir hasta 2-3° C en los próximos 50 años aproximadamente, causando serios impactos, a menudo mediados por el agua, incluyendo sequías e inundaciones mucho más frecuentes” (Stern, 2006).

El agua es el recurso más importante de los recursos naturales, siendo como todos sabemos indispensable para la vida, tanto de humanos como animales y plantas; a pesar de ello su preservación y calidad está seriamente amenazada por las actividades humanas y el cambio climático. Podemos encontrar diversos factores que afectan a los sistemas acuáticos, como son los cambios en la cubierta de suelos, la urbanización, la industria, proyectos de ingeniería destinados al almacenamiento de agua, como son las presas, proyectos dedicados al riego y los transvases de una cuenca a otra. Los beneficios que conllevan la provisión de agua a los sistemas productivos normalmente van acompañados del deterioro de los ecosistemas de la biodiversidad, cuyo daño no ha sido adecuadamente cuantificado.

A nivel mundial, alrededor del 70% del agua dulce es utilizada para el riego de cultivos y la provisión de alimentos. 1400 millones de personas viven actualmente en cuencas hidrográficas, donde se da la circunstancia de que el uso del agua excede el abastecimiento. Entre los síntomas de este estrés encontramos los colapsos de sistemas fluviales en el norte de China, disminución de los niveles de aguas subterráneas en Asia meridional así como en Oriente Medio, provocando todo ello un incremento en las disputas entorno al agua (UNDP, 2008), sirviendo como ejemplo las tensiones entre regantes de cuencas hidrográficas españolas, especialmente motivado por la escasez de agua de calidad en las zonas de cultivo de la costa mediterránea.

El cambio climático es por tanto una amenaza para la seguridad humana, ya que conlleva una serie de desplazamientos y competencia por el agua y los alimentos, provocando además indirectamente enfermedades y hambrunas (Dankelman & Khurshid et al., 2008).

1.10. MEJORA GENÉTICA Y PERSPECTIVAS DE MEJORA EN EL CULTIVO DEL PIMIENTO

La mejora vegetal aplica los principios de la genética para producir variedades, con características más deseables, tales como mayor resistencia a las enfermedades, sabores más agradables e intensos, mayor rendimiento, o para obtener nuevas variedades para el mercado (Nazzaro *et al.*, 2009). Para ello es interesante poder contar con una amplia variedad de recursos genéticos de pimiento, que permitan llevar a cabo mejoras, sin olvidar las especies silvestres que han servido de base al desarrollo de la agricultura y que en muchos casos ofrecen características que en el desarrollo de las especies y variedades agrícolas pueden haberse ido perdiendo (Rodríguez-Burruezo *et al.*, 2010), así como aquellas especies silvestres tradicionalmente consumidas de forma local, que han servido como sustento a la humanidad desde sus orígenes (Tardío *et al.*, 2010) y que en muchos casos pueden representar un aporte nutricional sumamente interesante.

Uno de los principales retos al que se enfrenta el sector hortícola en España como consecuencia del cambio climático es la disminución progresiva de agua para riego de calidad. De hecho, el pimiento es mucho más sensible a la salinidad que otras hortalizas comunes. En este sentido, muchos agricultores se ven obligados a emplear agua de pozo que con frecuencia también se va salinizando como consecuencia del cambio climático, contaminación de acuíferos por exceso de fertilizantes en los campos circundantes, infiltraciones marinas en zonas cercanas a la costa, la propia sobreexplotación de los acuíferos, etc (FAO, 2013; CEPE, 1992; Crowe *et al.*, 1995). A este respecto, recientemente han surgido iniciativas de investigación para buscar fuentes de tolerancia a la salinidad y el déficit hídrico en *Capsicum*, incluyendo su potencia luso como portainjertos (Rodríguez-Burruezo *et al.*, 2016)

Por otro lado, en los últimos años se está imponiendo en la mentalidad occidental el concepto de “alimentos sanos”. Una vez satisfechas las necesidades calóricas básicas, el consumidor occidental está más concienciado en ingerir alimentos ricos en compuestos beneficiosos para la salud. Por ello, el desarrollo de pimientos seleccionados y mejorados en función a su contenido en compuestos nutricionales incrementaría su valor añadido para el productor y mejoraría su comercialización.

En este sentido, como se comentó anteriormente, los frutos del pimiento son especialmente ricos en vitaminas A y ácido ascórbico, carotenoides rojos y amarillos/naranjas, en compuestos fenólicos y algunos minerales, lo que a nivel de nutrición humana, puede evitar el envejecimiento celular y puede ser fuente de sustancias anticancerígenas y fortalecer el sistema inmunológico, entre otras ventajas. Sin embargo, existe un escaso o nulo conocimiento en lo referente a i) el efecto del pie o patrón sobre la calidad del fruto de la variedad injertada y ii) su interacción con factores de estrés abiótico como la salinidad o el déficit hídrico.

1.11. OBJETIVOS

Como ya se ha comentado, el pimiento es una de las hortalizas con mayor importancia a nivel mundial y en España, donde encontramos un amplio sistema socioeconómico en torno a este cultivo, el cual se encuentra en las primeras posiciones entre las hortalizas, tanto para consumo en fresco como en seco, siendo una hortaliza muy arraigada en la cocina mediterránea. Asimismo, el consumidor demanda cada vez más productos saludables, con mejores propiedades nutricionales (contenido en vitaminas y otras sustancias funcionales beneficiosas para la salud), pues una vez satisfechas las necesidades básicas el consumidor empieza a preocuparse por el efecto de la alimentación en su salud. En el caso del pimiento, es una de las hortalizas de consumo común con mejores propiedades nutritivas, destacando fundamentalmente por su contenido en ácido ascórbico (vitamina C) y polifenoles, lo cual tiene el potencial de incrementar el valor añadido del producto. En este sentido, las variedades actuales son frecuentemente híbridos F1 seleccionados por rendimiento, resistencia a patógenos y apariencia externa, en detrimento caracteres relacionados con las propiedades nutricionales. Es por ello que debemos esforzarnos en conseguir incrementar las propiedades nutricionales de los cultivares actuales ya sea por mejora genética y/o considerando los factores agronómicos que influyen en el nivel de expresión de estos compuestos.

En este sentido, el cambio climático es un hecho constatado, el cual está limitando progresivamente la disponibilidad de agua dulce tanto para consumo humano como para los cultivos. A lo que hay que unir la actividad humana que contamina constantemente las reservas de agua disponibles. Por todo lo anterior, existe una estrategia de mejora agronómica basada en emplear patrones o portainjertos que confieran a las variedades una mayor tolerancia a la salinidad y un uso más eficiente del agua disponible, siendo estos aspectos poco estudiados en la literatura científica disponible.

Por todo ello en el presente trabajo experimental se persiguen los siguientes objetivos para el desarrollo de portainjertos de pimiento tolerantes a déficit hídrico y/o salinidad en términos de calidad nutricional del fruto de la variedad injertada:

- Evaluar el contenido en materia seca, ácido ascórbico y fenoles totales en los frutos maduros e inmaduros de una variedad injertada sobre diferentes portainjertos, bajo condiciones de estrés hídrico (riego al 50% de lo habitual) y estrés salino (salinidad incrementada a 3dS/m).

- Evaluar en una serie de combinaciones variedad-portainjertos los efectos de: i) portainjerto, ii) estrés hídrico, iii) estrés salino, iv) estado de madurez del fruto y las distintas interacciones de los mismos sobre el contenido en materia seca, ácido ascórbico y fenoles totales.
- Identificar las mejores combinaciones variedad portainjertos para cada estrés abiótico y estado de madurez del fruto en los caracteres de composición de fruto mencionados, en comparación con combinaciones control

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MATERIAL VEGETAL

Para este trabajo se han usado 10 tipos de combinaciones variedad/patrón empleando como variedad el cultivar Adige de pimiento tipo lamuyo (*Capsicum annuum*), distribuida por la compañía Sakata, y emplean diversos portainjertos *Capsicum sp.*, incluidos tipos comerciales, sobre los que se injertó esta variedad (Tabla 3). A modo de control, una de las combinaciones era la propia variedad Adige injertada sobre sí misma y otra la variedad sin injertar. Los semilleros de la variedad y los diferentes portainjertos se realizaron sobre bandejas de alveolos rellenas de sustrato de semillero comercial. Los injertos se realizaron aproximadamente a los 45 días de la siembra y el trasplante 30 días tras el injerto.

Tabla 3. Combinaciones variedad/patrón empleadas en el presente experimento.

Combinación nº	Variedad/Patrón
1	Adige/ECU-973 (<i>C. chinense</i>)
2	Adige/ECU-994 (<i>C. chinense</i>)
3	Adige/BOL-58 (<i>C. baccatum</i>)
4	Adige/Tresor (Comercial)
5	Adige/Chimayo (<i>C. annuum</i>)
6	Adige/Numex Big Jim (<i>C. annuum</i>)
7	Adige/Jalapeño Espinalteco (<i>C. annuum</i>)
8	Adige/Antinema (Comercial)
9	Control: Adige sin injertar
10	Control: Adige/Adige

2.2. CONDICIONES DE CULTIVO

Las distintas combinaciones variedad/patrón fueron cultivadas en ciclo de primavera-verano bajo túnel de malla en tres sistemas de cultivo diferentes en una parcela experimental de ANECOOP (Museros, Horta Nord): i) riego habitual con agua disponible en la zona (< 1 dS/m) ii) déficit hídrico (volumen de riego reducido un 50% respecto al aporte habitual para este cultivo), iii) estrés salino (riego con agua moderadamente salina, CE incrementada mediante NaCl hasta alcanzar 3 de dS/m).

2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL Y MUESTREO

Para cada combinación variedad/patrón y condiciones de cultivo se cultivaron 10 individuos, distribuidos aleatoriamente en cinco bloques de dos individuos. Por lo tanto, en cada condición experimental se cultivaron 100 individuos, y un total de 300 en las tres. Para el muestreo, se cosecharon frutos en los dos estadios comerciales de esta hortaliza: inmaduro con tramaño definitivo y maduro. En cada combinación variedad/patrón y condiciones de cultivo se prepararon cinco muestras, cada muestra (15 g) a partir de diferentes frutos de las dos plantas de cada bloque. Cada muestra (inmadura o madura) se consideró una repetición experimental. Por tanto, para cada combinación variedad/patrón - condiciones de cultivo – estado de madurez se disponía de cinco datos (n=5).

2.4. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Para analizar el contenido en ácido ascórbico (CAA) y polifenoles totales (FT) se preparó un extracto vegetal con las muestras de forma acuosa, por lo que se tomaron 15 g de fruto fresco tanto en estado inmaduro como maduro, eliminando las semillas y troceando varios frutos hasta conseguir los 15 g necesarios para posteriormente usar una batidora industrial en la que se batían las porciones con una pequeña cantidad de agua destilada a 4000 rpm durante 25s. Tras esto se procedía al filtrado de los restos vegetales usando una probeta de 100 ml, un embudo de cristal y un filtro de malla de visillo. Como paso final se procedía a verter el contenido en un matraz aforado, enrasando con agua destilada hasta 50 ml en el caso de frutos inmaduros y hasta los 100 ml en el caso de frutos totalmente maduros. Finalmente se tomó parte del extracto resultante para analizar su CAA y el resto se guardaba en tubos tipo “Falcon” de 50 ml que eran guardados en el congelador debidamente etiquetados para su posterior análisis de FT (Figura 1).

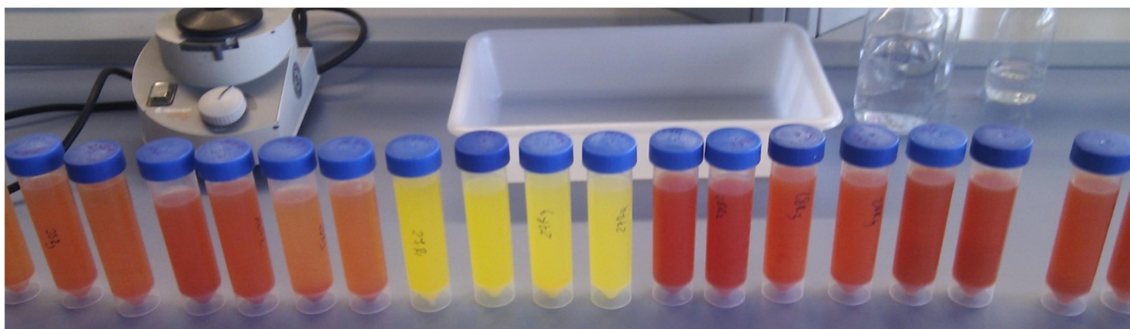


Figura 16. Tubos Falcon con el extracto vegetal acuoso

Para el análisis del contenido en materia seca (MS) se liofilizó el material vegetal tanto en frutos inmaduros como maduros. Primero se pesaba el fruto en fresco y posteriormente se liofilizaba usando una estufa como método de secado. Se tomaba el fruto fresco troceado y tras colocarlo en un crisol se introducía en la estufa durante 24h con aire forzado a $65^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Una vez seco se volvía a pesar y de esta forma hallábamos la diferencia entre peso fresco y seco. Dividiendo el peso seco entre el peso fresco y multiplicando por 100 obtenemos el porcentaje de materia seca la muestra.

2.5. PROTOCOLO DE ANÁLISIS DEL CONTENIDO EN ACIDO ASCÓRBICO

El fundamento para determinación del contenido en ácido ascórbico (CAA) se basa en una valoración potenciométrica empelando cloramina T como valorante.

El equipo y los materiales usados fueron un valorador automático Metrohm Titrimo 70), con electrodo combinado de platino Metrohm 6.042.100, así como varios tipos material volumétrico de vidrio.

Los reactivos usados para la valoración fueron:

1. Disolución de cloramina T 0,05M, obtenida disolviendo 1.4084 g de cloramina T 3-hidrato ($\text{C}_7\text{H}_7\text{SO}_2\text{NNaCl}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) en un vaso de precipitados de 500 ml con agua

destilada y con ayuda de un agitador magnético. Tras la disolución vertemos en un matraz aforado de 1l y aforamos con H₂O destilada.

2. Disolución de H₂SO₄ 2M obtenida mediante la disolución de 11.11 ml de H₂SO₄ concentrado en agua destilada enrasando hasta 100 ml
3. Disolución patrón de ácido ascórbico. Disolución de 250 mg de ácido ascórbico en agua destilada y enrasando a 100 ml

Antes de empezar a analizar las muestras debemos poner a punto el valorador automático. Primero se preparan el electrodo y el capilar, limpiándolos con agua destilada cada vez que se saque y se guarde. Tras esto nos aseguramos de que el valorador se encuentra en el método Cloramina T. Tras esto podemos pasar a la normalización de la disolución de cloramina T para lo cual debemos introducir 50 ml de agua destilada en un vaso de precipitados de 100 ml, añadimos 2 ml de H₂SO₄ 2M, 2 ml de la disolución patrón de ácido ascórbico, 100 mg de KI sólido y se agitamos hasta que se disuelva por completo. Tras esto debemos colocarlo en el agitador magnético del valorador, sumergimos el electrodo con la disolución y el extremo de la bureta en la disolución tratando de que no toque la varilla magnética. Antes de iniciar la valoración se debe introducir a través del teclado auxiliar la concentración exacta de la disolución patrón de ácido ascórbico, el valorador empezará a añadir el valorante, y transcurrido un tiempo la medida se estabilizará y el valorador automático detendrá el proceso por sí solo en el momento en que detecte el final de la valoración, mostrando en pantalla la concentración de cloramina T.

Ya que tenemos ajustado el valorador automático, podemos proceder con la valoración de vitamina C de los frutos inmaduros y maduros, para lo que seleccionamos en el valorador el método "Vitamina", introducimos en un vaso de precipitados de 100 ml 25 ml de zumo en el caso de frutos inmaduros, y en el caso de maduros solo 10 ml, junto con 25 Para ello, se selecciona el método de análisis "Vitamina" y en un vaso de precipitados de 100 ml se introducían 25 ml de zumo de pimiento verde o 10 ml de zumo de pimiento rojo, junto con 25 ml de agua destilada en frutos inmaduros y 40 ml en el caso de frutos maduros. Además se deben añadir 2 ml H₂SO₄ 2M, 100 mg de KI sólido. Nos ayudaremos de un agitador para garantizar que se disuelve todo correctamente. Colocamos el vaso de precipitados en el valorador y

procedemos igual que en la fase de ajuste de este, introducimos la concentración exacta de la solución de cloramina T e iniciamos el aparato (Figura 3).



Figura 17. Valorador automático

Se estima el Contenido de Ácido ascórbico (CAA) de las muestras de frutos con los valores de cloramina T. El resultado se expresa en mg de ácido ascórbico por 100 g de muestra fresca, estimándose a partir de la expresión:

$$CAA \text{ (mg / 100 g muestra fresca)} = \frac{(M \cdot V \cdot P_m)_{\text{ClorT}}}{(V_m)} \times \frac{V_{\text{ext}}}{P_{\text{ext}}} \times 100$$

De manera que:

M: molaridad de cloramina T

V: volumen gastado de cloramina T

P_m: peso molecular de cloramina T

V_m: volumen de muestra

P_{ext} : peso de la muestra fresca empleado al realizar el extracto acuoso

V_{ext} : volumen del extracto acuoso

2.6. PROTOCOLO DE ANÁLISIS DEL CONTENIDO EN FENOLES TOTALES

Este método se basa en la extracción de los polifenoles mediante una mezcla metanol-agua y su posterior cuantificación mediante una reacción colorimétrica tras la que se lee la absorbancia a 725 nm para lo que se usa un espectrofotómetro UV-visible modelo ("Jenway 6305") con cubetas de vidrio de 1cm de camino óptico, utilizándose además diverso material volumétrico de vidrio.

Reactivos usados:

1. Disolución Folin-Ciocalteau 2N
2. Disolución al 6% de hidróxido sódico
3. Disolución madre de 1000 mg L^{-1} de ácido cafeico usada para la preparación de una curva patrón a concentraciones de 0, 50, 100, 200, 300, 400 y 500 $\mu\text{g}/50 \text{ ml}$ (0, 1, 2,4, 6, 8, 10 ppm o $\mu\text{g}/\text{ml}$).

Para llevar a cabo el procedimiento se introduce en un matraz aforado de 25 ml 15 ml de agua destilada, 500 μl de zumo de pimienta y con una pipeta repetidora se añade 1250 μl del reactivo Folin-Ciocalteau 2N en los distintos aforados. La mezcla se homogeniza y se deja 3 minutos en reposo. Tras esto se debe añadir 2500 μl de NaOH 6% y enrasamos con agua destilada hasta los 25 μl . Dejamos reposar y en una hora se mide la absorbancia a 725 nm, a partir de la disolución en blanco (concentración 0ppm) y empleando la curva patrón de ácido cafeico como referencia.

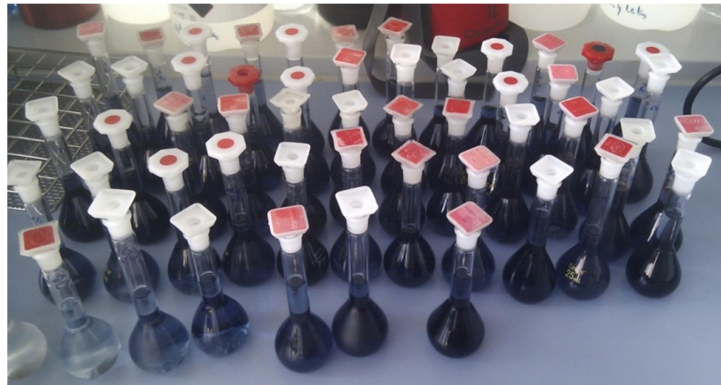


Figura 18. Aforados utilizados para el análisis de los fenoles totales

Como paso final ajustamos por mínimos cuadrados los datos obtenidos de absorbancia, determinando por interpolación en una recta de calibrados las concentraciones de fenoles que contienen las muestras, expresando los resultados en mg de ácido cafeico por 100 g de muestra fresca.

2.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con el fin de estudiar los efectos de la combinación, estado de madurez, tratamiento y sus correspondientes interacciones se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) de los efectos principales e interacciones dobles entre ellos. Tomando como base ese ANOVA se realizó además un test de rango múltiple basado en el ratio estadístico F para una $P < 0.05$ en el programa informático Statgraphics Centurion XVI.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN (ANOVA)

El análisis ANOVA realizado, mostró que tanto la combinación (C) de cada portainjerto con la variedad Adije así como los tratamientos aplicados (T) y el estado de maduración (EM), contribuyen significativamente al contenido en materia seca (MS), ácido ascórbico (CAA) y fenoles totales (FT) que presentan los frutos. Además la interacción de todos estos factores fue significativa para los tres caracteres, excepto en la interacción TxEM que no fue significativa para el contenido en fenoles totales. Esto implica que hubo diferencias significativas entre C, T, EM, así como para las interacciones CxT, CxEM y TxEM (con la excepción de TxEM en los FT que no fue significativo) (Tabla 4).

No obstante, la contribución de cada factor no fue la misma, ya que, si atendemos al valor de los cuadrados medios vemos que el factor que más contribuyó a estas diferencias observadas en los tres caracteres fue el efecto de la combinación, seguido por el efecto del tratamiento y en menor medida del efecto del estado de madurez (Tabla 4). En cuanto a las interacciones vemos que su importancia depende del carácter del que hablemos en cada momento, ya que si observamos el CAA vemos que el factor que más contribuye es la interacción TxEM, seguido por CxEM, seguido este por CxT. En cuanto a FT, el factor de las interacciones que más contribuyó a las diferencias fue CxT, seguido por CxEM, siendo TxEM totalmente indiferente. En MS vemos que la interacción con mayor contribución fue TxEM, seguida por CxT y finalmente CxEM.

Tabla 4. Análisis de la variación (ANOVA, basado en cuadrados medios) para los efectos principales tratamiento, estado de maduración y combinación portainjerto/variedad (cv. Adije), así como su interacción para el contenido en materia seca (MS), ácido ascórbico (CAA) y fenoles totales (FT) en fruto.

EFFECTO	g.l. ¹	MS	CAA	FT
Combinación (C)	9	302,91***	116336***	398146***
Tratamiento (T)	2	18,44***	64259***	55542***
Estado Maduración (EM)	1	8,63***	1221***	6207***
Interacciones				
CxT	18	4,85***	609*	8272***
CxEM	9	4,07***	801***	3272***
TxEM	2	8,97***	8178***	203 ^{NS}
Error	258	1.02	312	721

¹ grados de libertad.

NS, * y ** indican cuadrado medio no significativo para una probabilidad $P < 0.05$ y significativo para $P < 0.01$ y $P < 0.001$ del ratio estadístico F, respectivamente.

Los resultados obtenidos indican, por tanto, que a primera vista las diferencias en los niveles de MS, CAA y FT están determinadas en gran medida por el portainjertos utilizado y el factor de estrés aplicado (i.e. riego con agua moderadamente salina, déficit hídrico). En cualquier caso, la magnitud de las interacciones en las que está implicado el estado de maduración y su efecto, constatado en otros experimentos del grupo, aconsejan realizar ANOVAs para cada estado de madurez. Ello podría arrojar una explicación más simple y menos distorsionada por estas interacciones, pues la magnitud del incremento de CAA y FT con la maduración no es igual en todos los genotipos, ni el grado en que cada variedad puede ver alterado este proceso tiene por qué ser el mismo bajo diferentes condiciones de cultivo (i.e. estrés salino, hídrico o control).

En este sentido, el ANOVA simplificado para frutos inmaduros detectó que todos los factores eran significativos, incluyendo sus interacciones, y que el factor que más contribuye a estas diferencias es ahora el tratamiento (atendiendo a los resultados de los cuadrados medios), seguido por el factor combinación/portainjertos, y finalmente por la interacción de ambos (Tabla 5). Por ello, deducimos que el factor que más contribuye a las diferencias obtenidas en estado inmaduro es el tratamiento aplicado (normal, salino y estrés hídrico), complementado con la combinación específica de la variedad con cada portainjerto (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de la variación (ANOVA, basado en cuadrados medios) para los efectos principales tratamiento y combinación portainjerto/variedad (cv. Adije), así como su interacción para el contenido en materia seca (MS), ácido ascórbico (CAA) y fenoles totales (FT) en fruto inmaduro.

EFFECTO	g.l. ¹	MS	CAA	FT
Combinación (C)	9	2,72*	826*	5771*
Tratamiento (T)	2	19,2*	13319*	26468 *
CxT	18	2,03*	358*	5606*
Error	120	0,39	166	417

¹ grados de libertad

* indica cuadrado medio significativo para una probabilidad $P < 0.001$ del ratio estadístico F.

En cuanto a los frutos maduros, se encontraron algunas diferencias respecto a lo observado en fruto inmaduro. Así, el análisis ANOVA muestra que el factor que mejor explica las diferencias observadas es el tratamiento en el caso de CAA y FT. Sin embargo, aunque para el CAA el segundo factor a las diferencias observadas fue la combinación seguida de la interacción CxT, en FT el segundo factor fue la interacción CxT, seguido de la combinación. En contraste, en MS el factor que mejor explicaba la

variación observada fue la interacción CxT, seguida de la combinación y el tratamiento (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de la variación (ANOVA, basado en cuadrados medios) para los efectos principales tratamiento y combinación portainjerto/variedad (cv. Adije), así como su interacción para el contenido en materia seca (MS), ácido ascórbico (CAA) y fenoles totales (FT) en fruto maduro.

EFFECTO	g.l.¹	MS	CAA	g.l.¹	FT
Combinación (C)	9	9,99**	1195*	8	4213**
Tratamiento (T)	2	8,21**	59118**	2	31036**
CxT	18	11,98**	1005*	16	4761**
Error	120	0,42	391	108	827

¹ grados de libertad

* Cuadrado medio significativo para una probabilidad $P < 0.05$ del ratio estadístico F

** Cuadrado medio significativo para una probabilidad $P < 0.001$ del ratio estadístico F

En el caso de FT se eliminó la combinación 8 de todos los tratamientos, ya que para el tratamiento salino no había datos, tratando de esta manera mantener la robustez del análisis estadístico.

3.2. ANÁLISIS DEL CONTENIDO EN MATERIA SECA Y EFECTO DE LA COMBINACIÓN, TRATAMIENTO, ESTADO DE MADUREZ E INTERACCIÓN

3.2.1. Materia seca (MS): efecto de la combinación, tratamiento e interacción en fruto inmaduro

MS fue de los caracteres menos variables, tal y como parecía indicar el ANOVA preliminar. Estando comprendidos los valores de este carácter entre el 6.09% de la combinación 5 en tratamiento control y el 9.03% de la combinación 3 en el tratamiento con estrés hídrico (Tabla 7).

Los tratamientos en línea generales mostraron diferencias significativas entre sí siendo el tratamiento control en que menos MS contenía con un 6.64% de promedio, mientras que el tratamiento estrés hídrico mostró el mayor contenido con 7.86%.

Atendiendo al comportamiento de las combinaciones en función del tratamiento el análisis de la variación mostró que para el tratamiento control fue el que menos variación contenía, ya que prácticamente ninguna de las combinaciones mostraron diferencias significativas entre sí, destacando las combinaciones 2, 4 y 9 como las que más MS contenían con 6.84%, 7.15% y 8.01% respectivamente (Tabla 7). En cuanto al tratamiento estrés hídrico el rango de variación estuvo comprendido entre el 6.55% de la combinación 10 y el 9.03 de la combinación 3 (Tabla 13).. Para el tratamiento estrés salino el rango de variación fue de 6.71% de la combinación 7 y 8.41% de la combinación 4 (Tabla 7).

El comportamiento de las combinaciones fue diferente en función de las condiciones de cultivo, ya que a pesar de que los tratamientos mostraban diferencias significativas entre sí, como fue el caso de las combinaciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6 que mostraron diferencias significativas entre los tres tipos de tratamiento, mostrando todas los mayores valores en MS para el tratamiento con estrés hídrico, excepto la combinación 4 que presentó el valor máximo en el tratamiento con estrés salino, hubo combinaciones que no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, como fueron las combinaciones 7 y 9. La combinación 8 no mostró diferencias significativas entre estrés salino e hídrico, pero ambos sí que mostraron diferencias con el tratamiento control, siendo este el que menos valor para MS mostró. Para la combinación 10 se comprobó que el mayor valor en MS lo aportó el tratamiento con estrés salino, siendo este significativamente superior a los otros dos tratamientos (Tabla 7). Todo esto pone de manifiesto el efecto significativo de CxT que mostró el análisis ANOVA (Tabla 5).

Como conclusión podemos extraer que para fruto inmaduro las condiciones de estrés hídrico favorecen al carácter en la mayoría de los casos, dando valores similares a tratamiento control en el peor de los casos (e.g. combinación con Jalapeño Espinalteco , Adije sin injertar y Adije/Adije). Con respecto a cultivo bajo estrés salino

ocurre algo similar, en el que a pesar de tener un menor contenido en MS que en déficit hídrico las combinaciones mostraron mayores valores para el carácter que en el tratamiento control (e.g. combinaciones ECU-994 , BOL-58 y Tresa). Por todo ello vemos que la interacción CxT parece lo suficientemente importante como para poder permitir identificar portainjertos que aporten cierta tolerancia al estrés hídrico y salino, encontrando algunos que dan valores superiores al tratamiento control (e.g. combinación Tresa).

Tabla 7. Efecto del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en materia seca (MS) de los frutos inmaduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación)

Combinación	Control	Estrés hídrico	Salino
1	6,31 a (A) ¹	9,02 f (C)	7,20 bcd (B)
2	6,84 ab (A)	8,43 e (C)	7,79 e (B)
3	6,56 a (A)	9,03 f (C)	7,19 bcd (B)
4	7,15 ab (A)	7,71 d (B)	8,41 f (C)
5	6,09 a (A)	8,56 ef (C)	7,37 cd (B)
6	6,17 a (A)	7,86 d (C)	7,16 bc (B)
7	6,56 a (A)	6,78 ab (A)	6,71 a (A)
8	6,19 a (A)	7,17 bc (B)	6,95 ab (B)
9	8,01 b (A)	7,52 cd (A)	7,74 e (A)
10	6,47 a (A)	6,55 a (A)	7,50 de (B)
Media	6,64 (A)	7,86 (C)	7,40 (B)

¹ letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre promedios de las combinaciones dentro de tratamiento, letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre las medias totales de los tratamientos o entre tratamientos dentro de combinación (entre paréntesis), de acuerdo al test de rango múltiple de LSD y una significación de $P < 0.05$.

3.2.2. Materia seca (MS): efecto de la combinación, tratamiento e interacción en fruto maduro

En frutos totalmente maduros se observó una variación que iba desde un 6.64% de MS de la combinación 8 en el tratamiento estrés salino hasta un 11.86% que mostró la combinación 4 en el tratamiento estrés hídrico, nuevamente en este caso, al igual que ocurría en frutos inmaduros parece que el estrés hídrico hacia que el carácter aumentase (Tabla 8).

Los tratamientos mostraron de forma general diferencias significativas entre ellos, siendo el que menos MS aportaba el tratamiento con estrés salino, y el que mayor MS presentó fue el tratamiento con estrés hídrico, repitiéndose por tanto el patrón seguido en frutos inmaduros.

Los rangos de variación de las combinaciones observados en las combinaciones dentro de tratamiento quedarían de la siguiente manera: en el tratamiento control la combinación con menor MS fue la combinación 10 con 6.90%, hasta llegar la combinación 4 a 11.09% (Tabla 8). En el caso del tratamiento estrés hídrico este rango de variación estaría comprendido entre un 7.78% de la combinación 1 y la combinación 4 con 11.86% (Tabla 8). Finalmente, en el caso del tratamiento estrés salino la combinación 8 mostró el valor más bajo con 6.64% mientras que la combinación 7 mostró un porcentaje del 10.86% (Tabla 8).

El comportamiento de las combinaciones frente a las condiciones de cultivo fue muy variable, ya que si bien en términos generales todos los tratamientos eran diferentes significativamente, siendo del tratamiento con estrés salino el que presentaba los valores más bajos para el carácter y el estrés hídrico el que aportaba los mayores valores al carácter se pudo encontrar que las combinaciones 1 y 3 no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos control y estrés salino, siendo estos superiores en MS al tratamiento estrés hídrico, que fue significativamente inferior. Las combinaciones 2, 4 y 9 no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos control y estrés hídrico, pero fueron significativamente superiores al tratamiento estrés salino. Las combinaciones 5, 6 y 7 no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos con estrés, y los valores fueron significativamente superiores a los obtenidos con el tratamiento control. Los tratamientos 8 y 10 mostraron diferencias significativas entre todos los tratamientos (Tabla 8). Todo ello corrobora por tanto el efecto significativo que tiene la interacción CxT en estado maduro (Tabla 6).

Como conclusión podemos afirmar que al igual que ocurría en estado inmaduro, el uso de portainjertos parece conferir tolerancia frente al estrés salino hídrico, pero a diferencia de estado inmaduro en estado maduro hay ciertas combinaciones que no muestran diferencias significativas entre tratamientos con estrés, mejorando en ambos casos el contenido de este carácter en los frutos con

tratamiento control (e.g. combinación Jalapeño Espinalteco). Además es común encontrar combinaciones que no muestran diferencias entre tratamientos control y de estrés hídrico (e.g. combinaciones ECU-994 y Tresor), por lo que podríamos identificar portainjertos que podríamos usar para cultivar con menor consumo de agua.

Tabla 8. Efecto del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en materia seca (MS) de los frutos maduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación)

Combinación	Control	Estrés hídrico	Salino
1	9,65 c (B) ¹	7,78 a (A)	9,92 e (B)
2	10,97 d (B)	10,71 e (B)	9,05 cd (A)
3	11,05 d (B)	8,79 bc (A)	10,79 f (B)
4	11,09 d (B)	11,86 f (B)	8,76 bc (A)
5	7,40 ab (A)	9,24 cd (B)	8,63 bc (B)
6	8,19 b (A)	10,09 de (B)	9,57 de (B)
7	7,42 ab (A)	10,64 e (B)	10,86 f (B)
8	10,80 d (C)	7,91 ab (B)	6,64 a (A)
9	9,60 c (B)	9,27 cd (B)	6,81 a (A)
10	6,90 a (A)	10,87 e (C)	8,04 b (B)
Media	9,31 (B)	9,72 (C)	8,91 (A)

¹ letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre promedios de las combinaciones dentro de tratamiento, letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre las medias totales de los tratamientos o entre tratamientos dentro de combinación (entre paréntesis), de acuerdo al test de rango múltiple de LSD y una significación de P<0.05.

3.2.3. Materia seca (MS): efecto del estado de madurez, tratamiento e interacción

Según el análisis previo de la variación el MS depende del estado de maduración aunque no se ve tan influenciado como el CAA o FT (Tabla 9). Observando el ratio maduro/inmaduro vemos que esto es así, pues prácticamente en todas las combinaciones se cumple, principalmente en el tratamiento control, en el que absolutamente todos los ratio fueron mayor a 1 (Tabla 9). Sin embargo hubo 4 combinaciones en las que se pudo apreciar como los frutos inmaduros contenían mayor MS que los frutos totalmente maduros, esto ocurrió en tratamientos de estrés para las combinaciones 1 y 3 en tratamiento con estrés hídrico, y las combinaciones 8 y 9 en tratamiento con estrés salino. Todo ello podemos apreciarlo claramente en la tabla de ratios y en la gráfica de regresión (Figura 19).

Como conclusión podemos decir que efectivamente este carácter depende del estado de maduración y según para el destino del pimiento podremos identificar unos portainjertos u otros.

Tabla 9. Ratio del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en materia seca (MS) de los frutos maduros/inmaduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación)

Combinación	Control	Estrés hídrico	Salino
1	1.53	0.86	1.38
2	1.60	1.27	1.16
3	1.68	0.97	1.50
4	1.55	1.54	1.04
5	1.22	1.08	1.17
6	1.33	1.28	1.34
7	1.13	1.57	1.62
8	1.74	1.10	0.96
9	1.20	1.23	0.88
10	1.07	1.66	1.07
Media	1.41	1.26	1.21

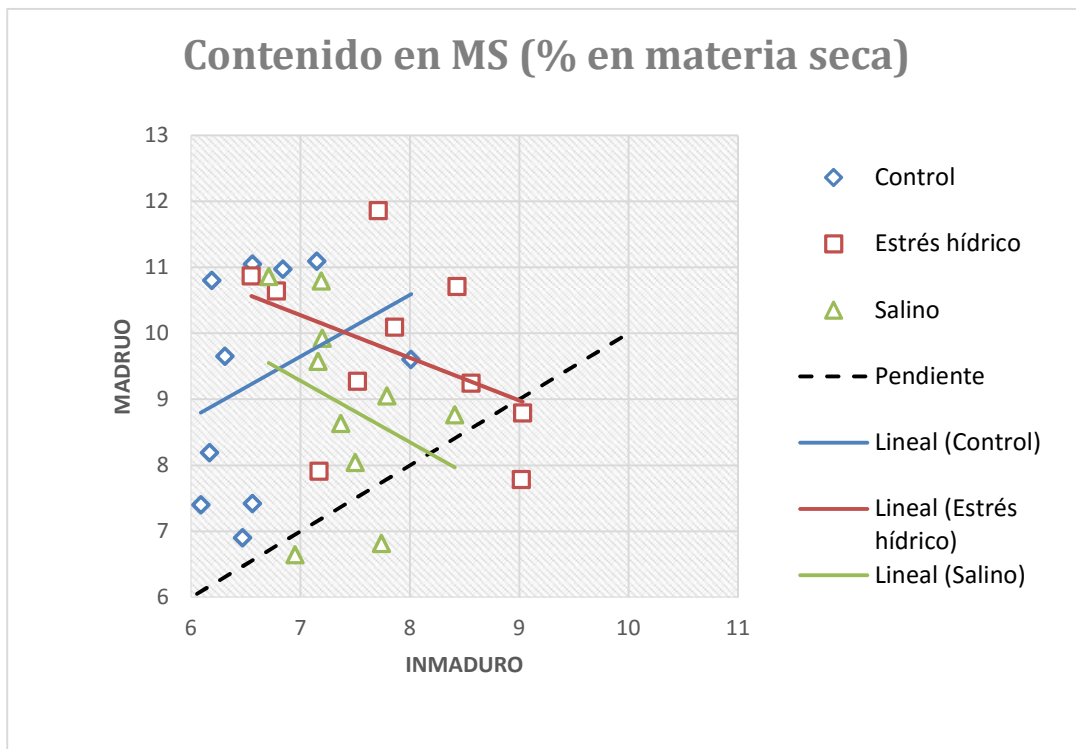


Figura 19: Gráfica comparativa entre frutos maduros e inmaduros del contenido en materia seca (% en materia seca) para cada combinación y en condiciones de cultivo control (rombos y azul), estrés hídrico (cuadrados y rojo) y estrés salino (triángulos y verde). Las líneas incluidas representan las líneas de tendencia dentro de tratamiento. La línea discontinua marca la pendiente 1 (nivel de MS similar en estado inmaduro y maduro).

3.3. ANÁLISIS DEL CONTENIDO EN ÁCIDO ASCÓRBICO Y EFECTO DE LA COMBINACIÓN, TRATAMIENTO, ESTADO DE MADUREZ E INTERACCIÓN

3.3.1 Contenido en ácido ascórbico (CAA): efecto de la combinación, tratamiento e interacción en fruto inmaduro

El contenido en ácido ascórbico (CAA) fue muy variable, tal y como demostró el análisis de la variación preliminar. Tanto dentro de tratamientos como dentro de las diferentes combinaciones en función del tratamiento podemos observar estas diferencias. Atendiendo a los valores obtenidos vemos que estos van desde los 60 mg/100 g de la combinación 4 en estrés salino hasta los 130 mg/100 g de la combinación 3 en estrés hídrico.

En términos generales, los tratamientos control y estrés hídrico muestran que no hay diferencias significativas entre ambos tratamientos, con 99 mg/100 g y 104 mg/100 g como valor promedio respectivamente en CAA, mientras que en estrés salino es claramente inferior con 74 mg/100 g.

Este comportamiento generalmente se ve reforzado por los rangos de variación observados entre combinaciones dentro de tratamiento. Así, bajo condiciones control (riego normal) apreciamos que los niveles en CAA estuvieron comprendidos entre 89 mg/ 100 g y 108 mg/ 100 g de las combinaciones 8 y 6, respectivamente (Tabla 10). En el caso de estrés hídrico el CAA mostró un rango de variación comprendido entre 81 mg/ 100 g y 130 mg/100 g de las combinaciones 4 y 3, respectivamente (Tabla 10). Finalmente, en el caso de estrés salino la combinación con menor CAA fue la combinación 4 con 60 mg/100 g, mientras que la que obtuvo un mayor contenido fue la combinación 9 con 90 mg/100 g (Tabla 10).

Asimismo, también se observó que las condiciones de cultivo no afectaban por igual al CAA de cada combinación. Incluso comparando entre las condiciones control y de estrés hídrico, que en promedio no presentaban diferencias significativas, se apreciaban combinaciones con CAA significativamente más alto bajo condiciones control que bajo estrés hídrico, mientras que en otros caso se daba la situación contraria. Adicionalmente, todas las combinaciones presentaban niveles más bajos en condiciones de estrés salino que sus equivalentes en riego control o bajo estrés hídrico (Tabla 10). Todo ello pone de manifiesto la presencia de interacción CxT significativa detectada en el ANOVA (Tabla 5).

Ahondando en este aspecto de la interacción CxT, de acuerdo a los resultados en función de la combinación vemos que en las combinaciones 1, 2, 5, 7 y 10 se cumple que no hay diferencias significativas entre los tratamientos control y estrés hídrico, mientras que el tratamiento salino sí que muestra diferencias significativas. Para la combinación 3 no hay diferencias significativas en el contenido en CAA entre los tratamientos control y estrés salino, mientras que estrés hídrico mostró diferencias

significativas. Las combinaciones 4 y 6 mostraron que hay diferencias significativas para todos los tratamientos, siendo el que menor contenido en CAA aportaba el estrés salino, y el que más el tratamiento control. Para la combinación 8 el análisis de la variación muestra que hay diferencias significativas entre los tratamientos estrés hídrico y estrés salino, pero no hay diferencias entre estos tratamientos y el tratamiento control. Por último, para la combinación 9 vemos que no hay diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos (Tabla 10). Todos estos resultados justifican el efecto significativo de la interacción CxT, tal y como mostró el análisis de la variación preliminar (Tabla 5).

En conclusión, para el CAA en fruto inmaduro se determinó que el estrés por riego con agua moderadamente salina es claramente perjudicial, hasta el punto de que todas las combinaciones bajo esas condiciones de estrés abiótico mostraron niveles más bajos que los observados para las condiciones de estrés hídrico o las de riego control. Por el contrario, salvo alguna excepción, el riego con déficit hídrico no penaliza al CAA frente a riego control. De hecho, en algún caso (e.g. combinación 3) los niveles de CAA son sensiblemente superiores bajo déficit hídrico. En cualquier caso, la interacción CxT es suficientemente importante como para identificar portainjertos que mitiguen el efecto de la salinidad, incluso pudiendo ofrecer niveles similares al control (e.g. combinaciones BOL-58 y Adije) (Tabla 10).

Tabla 10. Efecto del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en ácido ascórbico (CAA) de los frutos inmaduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación)

Combinación	Control	Estrés hídrico	Salino
1	106 ab (B) ¹	102 bcd (B)	79 bcd (A)
2	94 ab (B)	108 cd (B)	73 abc (A)
3	96 ab (A)	130 e (B)	84 cd (A)
4	95 ab (C)	81 a (B)	60 a (A)
5	101 ab (B)	98 abc (B)	72 abc (A)
6	108 b (C)	89 ab (B)	65 a (A)
7	107 ab (B)	108 cd (B)	71 abc (A)
8	89 a (AB)	104 bcd (B)	66 ab (A)
9	103 ab (A)	115 de (A)	90 d (A)
10	95 ab (B)	109 cd (B)	80 cd (A)
Media	99 (B)	104 (B)	74 (A)

¹ letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre promedios de las combinaciones dentro de tratamiento, letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre las medias totales de los tratamientos o entre tratamientos dentro de combinación (entre paréntesis), de acuerdo al test de rango múltiple de LSD y una significación de P<0.05.

3.3.2. Contenido en ácido ascórbico (CAA): efecto de la combinación, tratamiento e interacción en fruto maduro

En frutos maduros, al igual que en inmaduros el análisis de la variación preliminar mostró una gran variación en el CAA, el cual está comprendido desde los 74 mg/100 g de la combinación 1 en estrés salino, hasta los 180 mg/100 g de la combinación 4 en estrés hídrico.

En términos generales, atendiendo a los valores promedio de los diferentes tratamientos vemos que hay diferencias significativas entre tratamientos, siendo el tratamiento estrés salino el que menos CAA presentaba, con 93 mg/100 g y el tratamiento estrés hídrico el que más, con 158 mg/100 g, a diferencia de lo que ocurría en fruto inmaduro, en el que los tratamientos control y estrés hídrico no mostraban diferencias.

En cuanto al rango de variación dentro de cada tratamiento, en el tratamiento control va desde 125 mg/100 g de la combinación 5 hasta los 163 mg/100 g de la combinación 7. En el caso del tratamiento estrés hídrico la combinación que mostró menor CAA fue la combinación 7 con 122 mg/100 g y la que más la combinación 4 con 180 mg/100 g. Para estrés salino el rango de variación estaba comprendido entre los 74 mg/100 g de la combinación 1 y los 107 mg/100 g de la combinación 8 (Tabla 11). Podemos apreciar como los rangos de variación en el caso de frutos maduros es mayor que en frutos inmaduros, lo cual corrobora el resultado obtenido en el ANOVA preliminar que indica que el estado de madurez influye en CAA (Tabla 4).

Al igual que ocurría en frutos inmaduros el modo de cultivo no afectó por igual al CAA de las diferentes combinaciones, pues a pesar de que en términos generales los tratamientos eran diferentes entre sí (Tabla 11), varias de estas combinaciones no cumplían esta premisa, de manera que las combinaciones 1, 4 y 7 mostraron diferencias significativas entre todos los tratamientos (como indica el promedio de los tratamientos), siendo el tratamiento estrés salino el que menos contenido en CAA mostró en los tres casos. Las combinaciones 2, 3, 5, 6, 9 y 10 no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos control y estrés hídrico, pero el tratamiento salino sí que mostró diferencias significativas. La combinación 8 no mostró diferencias significativas entre el tratamiento control y los demás tratamientos, pero estos (estrés hídrico y estrés salino) sí que mostraron diferencias significativas entre ambos. Por tanto, al igual que para frutos inmaduros, la interacción CxT fue significativa, estando esto apoyado por los resultados obtenidos (Tabla 6).

Como conclusión podemos extraer por tanto que el estrés salino es claramente contraproducente para el CAA, ya que como muestran los resultados obtenidos todas las combinaciones mostraron sus valores más bajos en estas circunstancias. En

oposición a esto anterior, podemos afirmar que el tratamiento estrés hídrico es cuanto menos inocuo para la mayoría de combinaciones, siendo en ciertos casos beneficioso. Como es el caso de las combinaciones ECU-973 y Tresor, en las que el estrés hídrico genera un aumento en el contenido de CAA. Por tanto podemos identificar diversas combinaciones que aportan mayor CAA en condiciones de estrés hídrico en comparación incluso con condiciones de riego normales. En el caso de la combinación Tresor podríamos decir además que tiene buen comportamiento frente al estrés salino, pues es de los que mayor contenido muestra para este tratamiento.

Tabla 11. Efecto del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en ácido ascórbico (CAA) de los frutos maduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación)

Combinación	Control	Estrés hídrico	Salino
1	143 abc (B) ¹	163 cd (C)	74 a (A)
2	160 bc (B)	157 c (B)	84 ab (A)
3	156 abc (B)	178 d (B)	107 c (A)
4	128 ab (B)	180 d (C)	96 bc (A)
5	125 a (B)	148 bc (B)	84 ab (A)
6	149 abc (B)	161 cd (B)	100 bc (A)
7	163 c (C)	122 a (B)	82 ab (A)
8	133 abc (AB)	165 cd (B)	107 c (A)
9	153 abc (B)	167 cd (B)	100 bc (A)
10	139 abc (B)	135 ab (B)	94 abc (A)
Media	145 (B)	158 (C)	93(A)

¹ letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre promedios de las combinaciones dentro de tratamiento, letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre las medias totales de los tratamientos o entre tratamientos dentro de combinación (entre paréntesis), de acuerdo al test de rango múltiple de LSD y una significación de P<0.05.

3.3.3. Contenido en ácido ascórbico (CAA): efecto del estado de madurez, tratamiento e interacción

El análisis de la variación preliminar mostró que hay diferencias significativas entre el estado de madurez y el CAA. Tal y como muestran estudios previos (Rodríguez-Burruezo y Nuez, 2006). Hay diferencias significativas entre frutos inmaduros y maduros, siendo superior el CAA en frutos maduros.

La regresión frutos maduros-inmaduros muestra que en todos los casos excepto en 1 (combinación ECU-973 en tratamiento salino) los frutos maduros tenían mayor CAA que los frutos inmaduros (Figura 20), además atendiendo al ratio obtenido frutos maduros/inmaduros vemos que la combinación que experimento menor incremento al madurar fue la combinación Adije con un ratio de 1.11, y a pesar de ello mostró un incremento en el CAA. Podemos también ver como el tratamiento con estrés salino provoca un menor incremento en el CAA cuando el fruto madura, siendo en algún caso el CAA menor en fruto maduro que en inmaduro, como es el caso de la combinación ECU-973. En cuanto al efecto del estrés hídrico y control podemos apreciar como este efecto dependerá de la combinación en cuestión ya que unas combinaciones muestran incremento en condiciones de estrés hídrico, dándose el mayor incremento en la combinación Tresor con un ratio 2.22 (Tabla 12).

Tabla 12. Ratio del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en ácido ascórbico (CAA) de los frutos maduros/inmaduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación)

Combinación	Control	Estrés hídrico	Salino
1	1,35	1,60	0,94
2	1,70	1,45	1,15
3	1,63	1,37	1,27
4	1,35	2,22	1,60
5	1,24	1,51	1,17
6	1,38	1,81	1,54
7	1,52	1,13	1,15
8	1,49	1,59	1,62
9	1,49	1,45	1,11
10	1,46	1,24	1,18
Media	1,46	1,54	1,27

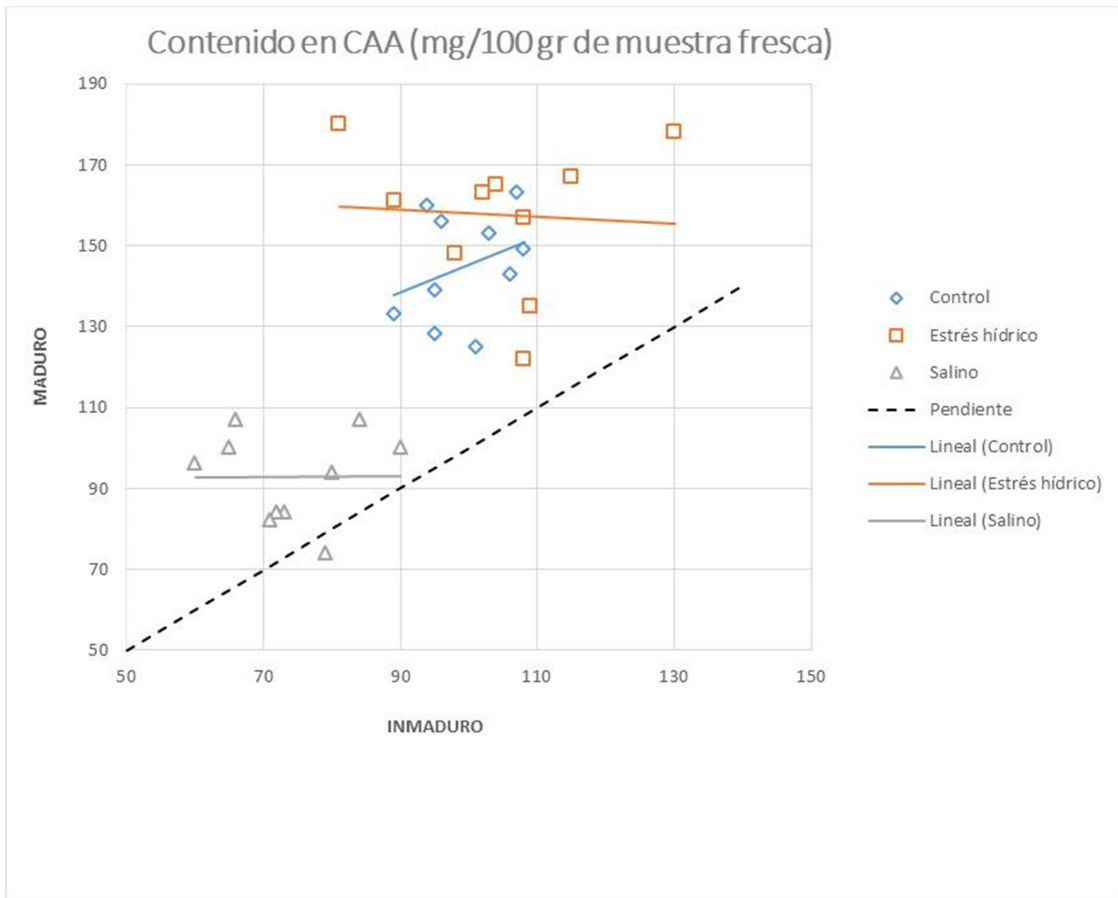


Figura 20. Gráfica comparativa entre frutos maduros e inmaduros del contenido en ácido ascórbico (CAA en mg/100 gr de muestra fresca) para cada combinación y en condiciones de cultivo control (rombos y azul), estrés hídrico (cuadrados y rojo) y estrés salino (triángulos y verde). Las líneas incluidas representan las líneas de tendencia dentro de tratamiento. La línea discontinua marca la pendiente 1 (nivel de CAA similar en estado inmaduro y maduro).

3.4. ANÁLISIS DEL CONTENIDO EN FENOLES TOTALES Y EFECTO DE LA COMBINACIÓN, TRATAMIENTO, ESTADO DE MADUREZ E INTERACCIÓN

3.4.1. Fenoles totales (FT): efecto de la combinación, tratamiento e interacción en fruto inmaduro

El análisis de la variación preliminar confirmó que el contenido en fenoles totales (FT) fue variable en frutos inmaduros (Tabla 5), esto se puede apreciar tanto entre tratamientos como entre combinaciones. Tanto es así que los valores obtenidos van desde los 60 mg/100 g de la combinación 4 en el tratamiento salino hasta los 242 mg/100 g de la combinación 1 en el tratamiento estrés hídrico (Tabla 13).

Además, podemos ver como en términos generales todos los tratamientos son significativamente diferentes entre sí, siendo el tratamiento salino el que como promedio obtuvo un menor contenido en FT con solo 91 mg/100 g, por el contrario, el tratamiento estrés hídrico mostró ser como promedio el que mayor FT contenía con 137 mg/100 g.

Al análisis de la variación indica que en el tratamiento control la mayoría de combinaciones no mostraron diferencias significativas entre sí, destacando las combinaciones 3, 10 y 9 como las que mayor FT presentaron con 118 mg/100 g, 139 mg/100 g y 147 mg/100 g (Tabla 13). En el caso del tratamiento estrés hídrico, el mayor FT lo mostró la combinación 1 con 242 mg/100 g (Tabla 13). Para el tratamiento estrés salino las combinaciones 4 y 5 mostraron el menor FT con 60 mg/100 g y 75 mg/100 g respectivamente mientras que varias mostraron tener un FT mayor, las combinaciones 6, 3 y 9 con 105 mg/100 g, 106 mg/100 g y 118 mg/100 g respectivamente (Tabla 13).

Las combinaciones no respondieron de igual forma ante los tratamientos pues a pesar de que en términos generales el efecto de los tratamientos es diferente entre sí hay combinaciones que no muestran diferencias significativas entre tratamiento control y salino, o incluso entre ninguno de ellos, según esto vemos que en las combinaciones 1, 2 y 3 no hay diferencias significativas entre los tratamientos control y salino, pero ambos muestran diferencias significativas con el tratamiento estrés hídrico, siendo este último el que mostró tener mayor FT para las diferentes combinaciones. Las combinaciones 6, 7 y 9 no mostraron diferencias significativas entre tratamientos para el FT. Para la combinación 4 los tratamientos control y estrés hídrico no mostraron diferencias significativas, mientras que el estrés salino sí. Para la combinación 5 todos los tratamientos mostraron diferencias significativas entre sí, siendo el tratamiento estrés hídrico el que mostró el mayor FT para esta combinación. Para la combinación 8 los tratamientos estrés hídrico y salino mostraron diferencias significativas entre ambos, sin embargo el tratamiento control no mostró diferencias significativas entre los otros dos tratamientos. Para la combinación 10 los tratamientos estrés salino y

estrés hídrico no mostraron diferencias significativas, pero el tratamiento normal si, siendo este último el que mayor FT mostró (Tabla 13). Todo ello confirma por tanto el efecto significativo que CxT tiene sobre FT en frutos inmaduros (Tabla 5).

En conclusión podemos ver que FT se ve seriamente afectado por el cultivo en condiciones salinas, sin embargo hay combinaciones que dan un valor significativamente similar al obtenido cultivado en condiciones control (e.g. combinaciones ECU-973, ECU-994, BOL-58, Numex Big Jim y Jalapeño Espinalteco). El cultivo en condiciones de estrés hídrico incrementa significativamente FT con respecto a condiciones control (e.g. combinaciones ECU-973, ECU-994, BOL-58 y Chimayo). Por tanto, podemos encontrar diversos injertos que mitigan el efecto del estrés salino sobre FT, igualándolo a condiciones control, como puede ser el caso de las combinaciones ECU-973, ECU-994 y BOL-58, dándose el caso de que además para estas combinaciones el carácter FT es significativamente superior a condiciones control y de estrés salino (Tabla 13).

Tabla 13. Efecto del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en fenoles totales (FT) de los frutos inmaduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación)

Combinación	Control	Estrés hídrico	Salino
1	115 ab (A) ¹	242 e (B)	82 bc (A)
2	105 a (A)	210 d (B)	85 bcd (A)
3	118 abc (A)	148 c (B)	106 ef (A)
4	95 a (B)	84 a (B)	60 a (A)
5	94 a (B)	152 c (C)	75 ab (A)
6	107 a (A)	89 ab (A)	105 ef (A)
7	115 ab (A)	115 b (A)	96 cde (A)
8	91 a (AB)	114 ab (B)	80 bc (A)
9	147 c (A)	117 b (A)	118 f (A)
10	139 bc (B)	97 ab (A)	100 de (A)
Media	113 (B)	137 (C)	91 (A)

^{4. 1} letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre promedios de las combinaciones dentro de tratamiento, letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre las medias totales de los tratamientos o entre tratamientos dentro de combinación (entre paréntesis), de acuerdo al test de rango múltiple de LSD y una significación de P<0.05.

3.4.2. Fenoles totales (FT): efecto de la combinación, tratamiento e interacción en fruto maduro

Para frutos maduros el análisis de la variación mostró que había variación en FT, estando los valores comprendidos entre los 130 mg/100 g de la combinación 1 en el tratamiento estrés salino y los 271 mg/100 g de la combinación 1 en el tratamiento estrés hídrico (Tabla 14).

En términos generales, atendiendo a los valores promedio de los diferentes tratamientos vemos que hay diferencias significativas entre tratamientos, siendo el tratamiento estrés salino el que menos FT mostró con 161 mg/100 g y el tratamiento estrés hídrico el que mayor FT obtuvo con 215 mg/100 g, repitiéndose por tanto el patrón seguido por los resultados obtenidos en frutos inmaduros.

Los rangos de variación entre combinaciones dentro de tratamientos en este caso estarían comprendidos en el caso del tratamiento control de 139 mg/100 g a 241 mg/100 g de las combinaciones 5 y 9 respectivamente. En el caso del tratamiento estrés hídrico el rango de variación estaría comprendido entre los 151 mg/100g de la combinación 7 y los 271 mg/100 g de la combinación 1. Para el estrés salino el rango estaría comprendido entre los 130 mg/ 100 g de la combinación 1 y los 190 mg/100 g de las combinaciones 3 y 6 (Tabla 14).

Al igual que ocurría con los caracteres anteriores la condiciones de cultivo no afectan por igual al FT de cada variedad, pues si en términos generales los tratamientos son diferentes entre sí de forma significativa, siendo el tratamiento estrés salino el que menos FT muestra, y el tratamiento estrés hídrico el que más, se dan casos de combinaciones en los que no hay diferencias significativas entre tratamientos, en otros ocurre todo lo contrario (Tabla 14), poniendo de manifiesto la significación de la interacción CxT (Tabla 6).

Prestando atención al comportamiento de las combinaciones en función del tratamiento vemos que el análisis inicial de la variación mostró que los tratamientos eran significativamente diferentes en las combinaciones 1, 2 y 3, mostrando los mayores FT las combinaciones 2 y 1 en tratamiento con estrés salino con 240 mg/100 g y 271 mg/100 g respectivamente. En el caso de la combinación 3 mostró el contenido más alto en fenoles en el tratamiento control. Varias combinaciones mostraron no tener diferencias significativas entre tratamiento control y salino, pero ambos eran diferentes al tratamiento con estrés hídrico, estas fueron las combinaciones 4, 5 y 6. La combinación 9 al contrario que estas últimas no mostró diferencias significativas entre los tratamientos con estrés, pero sí que se vio que el tratamiento control era diferente

de forma significativa, dando además el mayor FT. Las combinaciones 7, 8 y 10 fueron indiferentes al tipo de tratamiento (Tabla 14). Todo ello por tanto justifica la interacción CxT significativa obtenida en la tabla ANOVA previa (Tabla 6).

Como conclusión podemos determinar que el estrés hídrico conlleva en la mayoría de combinaciones un aumento en FT, pudiendo identificar combinaciones con un contenido mucho más elevado en FT que en condiciones control, como es el caso de las combinaciones ECU-973 y ECU-994. Además muchas de las combinaciones no muestran diferencias significativas entre tratamiento control y estrés salino. Es por todo ello que los datos parecen arrojar la posibilidad de identificar portainjertos que mitiguen la salinidad y el déficit hídrico (e.g. combinaciones Tresor y Chimayo).

Tabla 14. Efecto del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en fenoles totales (FT) de los frutos maduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación)

Combinación	Control	Estrés hídrico	Salino
1	181 b (B) ¹	271 e (C)	130 a (A)
2	195 bc (B)	240 de (C)	148 ab (A)
3	225 cd (C)	208 cd (B)	190 c (A)
4	164 ab (A)	231 cd (B)	157 abc (A)
5	139 a (A)	233 d (B)	160 abc (A)
6	176 ab (A)	220 cd (B)	190 c (A)
7	175 ab (A)	151 a (A)	136 ab (A)
8	190 bc (A)	228 cd (A)	***
9	241 d (B)	197 bc (A)	172 bc (A)
10	185 b (A)	171 ab (A)	165 abc (A)
Media	187 (B)	215 (C)	161 (A)

¹ letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre promedios de las combinaciones dentro de tratamiento, letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre las medias totales de los tratamientos o entre tratamientos dentro de combinación (entre paréntesis), de acuerdo al test de rango múltiple de LSD y una significación de P<0.05.

*** no hay datos

3.4.3. Fenoles Totales (FT): efecto del estado de madurez, tratamiento e interacción

El análisis de la variación preliminar mostró que hay diferencias significativas entre el estado de madurez y el FT. Hay diferencias significativas entre frutos inmaduros y maduros, siendo superior el FT en frutos maduros. Si observamos la línea de regresión obtenida vemos claramente como al madurar los frutos incrementan su FT, estando todos los valores por encima de la línea de pendiente (Figura 21).

La regresión frutos maduros-inmaduros muestra que en todos los casos para los que hay datos los frutos maduros tenían mayor FT que los frutos inmaduros, además atendiendo a la ratio obtenido frutos maduros/inmaduros vemos que la combinación que experimento menor incremento al madurar fue la combinación ECU-973 con 1.12 en tratamiento estrés hídrico. Atendiendo a los valores promedio vemos que el tratamiento que mayor incremento dio en líneas generales fue el estrés hídrico con 1.72, seguido del tratamiento control con 1.68 (Tabla 15).

Tabla 15. Ratio del estrés hídrico y el estrés salino sobre el contenido en fenoles totales (FT) de los frutos maduros/inmaduros de la variedad Adije injertada sobre 10 patrones diferentes (combinación)

Combinación	Control	Estrés hídrico	Salino
1	1.57	1.12	1.59
2	1.86	1.14	1.74
3	1.91	1.41	1.79
4	1.73	2.75	2.62
5	1.48	1.53	2.13
6	1.64	2.47	1.81
7	1.52	1.31	1.42
8	2.09	2.00	***
9	1.64	1.68	1.46
10	1.33	1.76	1.65
Media	1.68	1.72	1.62

*** no hay datos

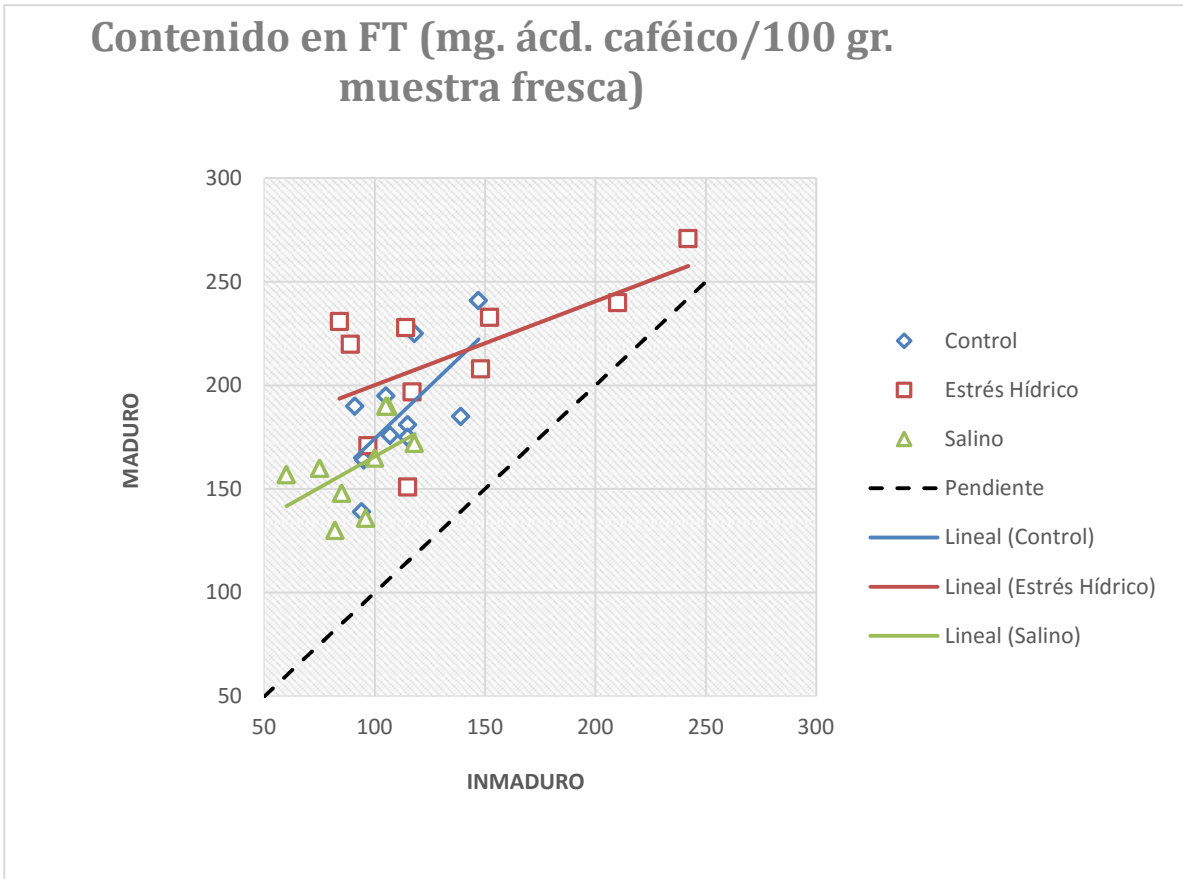


Figura 21. Gráfica comparativa entre frutos maduros e inmaduros del contenido en fenoles totales (mg. ácd. caféico/100 gr. muestra fresca) para cada combinación y en condiciones de cultivo control (rombos y azul), estrés hídrico (cuadrados y rojo) y estrés salino (triángulos y verde). Las líneas incluidas representan las líneas de tendencia dentro de tratamiento. La línea discontinua marca la pendiente 1 (nivel de FT similar en estado inmaduro y maduro).

4. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los análisis de la varianza, en general el tratamiento fue el principal factor que contribuyó a la variación observada en materia seca (MS), fenoles totales (FT) y especialmente el contenido en ácido ascórbico (CAA), tanto en fruto inmaduro como maduro, y en menor medida el portainjerto empleado o la interacción tratamiento x portainjerto.
- Profundizando en el efecto tratamiento, quedó patente que el estrés causado por riego con agua moderadamente salina (CE 3 dS/m aprox.) afecta negativamente a los tres caracteres. Así, con la única excepción de la materia seca en fruto inmaduro, tanto en promedio como en la mayoría de combinaciones variedad/portainjerto los valores de MS, CAA y FT fueron significativamente inferiores a los mostrados por los mismos materiales cultivados bajo condiciones control (riego normal con CE < 1 dS/m). Este fenómeno fue especialmente llamativo en CAA y en menor medida FT.
- Por el contrario, el estrés hídrico (riego al 50%) tuvo un efecto favorecedor sobre los niveles de los tres caracteres en comparación con el control, especialmente en MS en fruto inmaduro y FT en fruto inmaduro y maduro. De hecho, en muchas combinaciones variedad/portainjerto los niveles de MS, CAA y FT fueron superiores en condiciones de estrés hídrico que sus equivalentes con riego control.
- Por lo que respecta al proceso de maduración, éste contribuyó a incrementar los niveles de MS, CAA y FT, tanto en promedio como en la mayoría de combinaciones (ratio maduro/inmaduro >1.00). Sin embargo, se detectaron diferencias en esta tendencia entre tratamientos, especialmente en la acumulación de CAA bajo estrés salino y de MS bajo estrés hídrico y salino. Adicionalmente, también se detectaron casos de interacción combinación x tratamiento en esta tendencia (i.e. mientras algunas combinaciones mostraban una mayor acumulación de estos caracteres con la maduración bajo un tratamiento determinado, en otras mostraban el comportamiento contrario, e incluso en otras el incremento asociado a la maduración no se veía alterado por ningún tratamiento, siendo similar en todos).
- En todo caso la interacción combinación x tratamiento significativa detectada abre las puertas a seleccionar portainjertos específicos que contribuyan a mejorar los niveles de MS, CAA y FT bajo estrés hídrico en comparación con el riego control. E incluso bajo las condiciones más perjudiciales de estrés salino, esta interacción dio lugar a que algunos portainjertos sean capaces de ofrecer unos niveles de MS, CAA, FT similares al riego control, mitigando el efecto detrimental de este estrés.
- Así, para MS en frutos inmaduros en condiciones de estrés hídrico los mejores patrones serían ECU-973 y BOL-58, mostrando ambos el mismo contenido para este carácter, mientras que con estrés salino la mejor combinación posible sería con Tesor. En el caso de frutos maduros en condiciones de estrés hídrico

nuestra mejor opción sería una combinación con Tesor, y con estrés salino podríamos usar combinaciones con BOL-58 y Jalapeño Espinalteco.

En el caso del carácter CAA tanto en frutos inmaduros como maduros no hubo ninguna combinación que superase a la variedad sin injertar sobre patrón alguno pero sí que hubo varias que mantenían los niveles con respecto al control como es BOL-58 en estado inmaduro y BOL-58 junto con Tesor, aportando estabilidad al contenido en CAA.

Atendiendo a los resultados obtenidos para FT en frutos inmaduros bajo condiciones de estrés hídrico podemos decir que la mejor combinación en este caso sería con ECU-973 y en el caso de estrés salino no habría una combinación superior a la propia variedad sin injertar. Para frutos maduros con déficit en riego, la mejor combinación posible sería ECU-973, siendo claramente superior a todas las demás, y en el caso de estrés salino no habría combinación superior a las combinaciones control.

Por tanto habría diversas posibles opciones según nuestros intereses y sería interesante seguir estudios en este sentido, ya que se desconoce bastante el efecto del portainjerto sobre las cualidades nutricionales de las variedades.

5. BIBLIOGRAFÍA

Aloni, B.; Karni, L.; Moreshet, S.; Yao, C.; Stanghellini, C. (1999). Cuticular craking in bell pepper fruit. II. Effects of fruit water relations and fruit expansion. *Journal of horticultural science and biotechnology*, 74: 1-5.

Arrow Kenneth J. 2007: *Global Climate Change: A Challenge to Policy*. The Berkeley Electronic Press. *Economist Voice*. www.bepress.com/ev June 2007.

Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. Pearson Educación, México D.F., México

Belda, J. (1991). Áfidos y pulgones. En: *Secretaria General Técnica del M.A.P.A.* (Ed.). *Plagas del tomate: Bases para el control integrado*. M.A.P.A., Madrid, España. 75-88 pp

Belitz, H.D.; Grosch, W. (1997). *Química de los alimentos*, 2a edición. Acribia S.A., Zaragoza, España.

Ben Chaim, A.; Paran, I. (2001). Genetics analysis of quantitative traits in pepper (*Capsicum annum*). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125: 66-70.

Bors W.; Heller, W.; Michel, C.; Strttmaier, K. (1996). Flavonoids and polyphenils: Chemistry and biology. En: Packer, L.; and Cadenas, E. (Eds) *Handbook of Oxidants and Antioxidants*. Marcel Dekker Inc., New York, E.E.U.U.. 409-466 pp

Bosland, P.W.; Votava, E.J. (2000). *Peppers: vegetable and spice capsicums*. CABI Publishing, Nueva York, E.E.U.U..

Bridge, 2008: *Gender and climate change: mapping the linkages*. Institute of Development Studies, Sussex, UK.

Cavero, J.; Zaragoza, C.; Gil, R.; Villa, F.; Suso, M.L.; Pardo, A. (1994). *Siembra directa del pimiento*. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España.

CEPE. 1992. *Protection of Inland Waters Against Eutrophication*. Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, Documento # ECE/ENVWA/26, Ginebra

Céspedes, C.; Velasco, R.; Figueroa, A. (1999). Producción de pimientos orgánicos. *Chile Agrícola*, 24: 124-126.

Crowe, A.S. y Booty, W.G. 1995. A multi-level assessment methodology for determining the potential for groundwater contamination by pesticides. *Environ. Monit. Assess.* 35: 239-261

Dankelman Irene, Alam Khurshid et alt., 2008: *Gender, Climate Change and Human Security. Lessons from Bangladesh, Ghana and Senegal*.

Dewitt, D.; Bosland, P.W. (1996). *Peppers of the world: an Identification guide*. Ten Speed Press. Berkeley Close, Reino Unido

- Drechsel, P., Gyiele, L., Kunze, D., & Cofie, O. (2001). Population density, soil nutrient depletion, and economic growth in sub-Saharan Africa. *Ecological Economics*, 38(2), 251-258.
- Eshbaugh, W.H. (1982). Variation and evolution in *Capsicum eiximium* Hunz. *Baileya*, 21: 193-198
- Eshbaugh, W.H. (1979). Biosystematic and evolutionary study of the *Capsicum pubescens* complex. En: National Geographic Research Reports, 1970 Projects. National Geographic Society, Washington, DC., E.E.U.U.. 143-162 pp.
- Escobar, I. (1993). Cultivos de pimientos en sustratos en condiciones del Sud-Este Español. En: E. Martínez y M. García (Eds.) Cultivo sin suelo: hortalizas en clima Mediterráneo. *Horticultura*, Reus, España. 109-113 pp.
- Escudero, R.M. (1994). Pimientos MADE IN SPAIN. *Horticultura internacional*, 3: 57-59.
- Eshbaugh, W.H. (1968). A nomenclatural note on the genus *Capsicum*. *Taxon*, 17, 15-52.
- Espín de Gea, J.C.; Tomas-Barberán, F. (2006). Polifenoles y salud. *Investigación y Ciencia*, 356: 34-36.
- FAO, 2013. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO, Roma, 2013. FAO informe sobre temas hídricos 38, *Afrontar la escasez de agua, un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*, 1-21,
- FAO, 2007: Adaptation to Climate Change in agriculture, forestry and fisheries. Roma.
- FAO (2006). Food security, policy brief. ftp://ftp.fao.org/es/ESA/policybriefs/pb_02.pdf
- Ferrari, C.K.B.; Torres, E.A. (2003). Biochemical pharmacology of functional food and prevention of chronic diseases of aging. *Biomed Pharmacother*, 57, 251-260.
- Fonseca, R.; Chailloux, M.; Tamayo, V. (2005). El humus de lombriz como alternativa de fertilización en pimiento. *Revista Electrónica Granma Ciencia*: <http://gciencia.idict.cu/index.php/granmacien/article/download/123/365>
- Gamayo, J.D. (1996). El cultivo protegido de pimiento. *Compendio de Horticultura*, 9: 33-39.
- Garrido Luna, C. (2009). Aspectos fisiológicos y agronómicos de plantas de pimiento en respuesta al riego con aguas salinas. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Murcia, España.

- Gázquez Garrido, J.C.; Soler Rodríguez, A. (2008). Estrategias de control de plagas y enfermedades en pimiento. En: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (Ed.). Jornadas sobre Cultivo y Comercialización del Pimiento. MMAMRM, Madrid, España. 255-358 pp
- Gil Ortega, R.; Barriuso, J.; Palazón, C.; Zaragoza, C. (1990). Efecto de la solarización del suelo sobre el cultivo del pimiento al aire libre. Información Técnica Económica Agraria, 86: 142-154.
- Gil Ortega, R.; Barriuso, J.; Palazón, C.; Zaragoza, C. (1990). Efecto de la solarización del suelo sobre el cultivo del pimiento al aire libre. Información Técnica Económica Agraria, 86: 142-154.
- Gil Ortega, R.; Cuartero Zueco, J.; Nuez Viñals, F. (1990). Resistencia a *Phytophthora capsici* León en pimiento. INIA. Madrid, España.
- Gnayfeed, M.H.; Daood, H.G.; Biacs, P.A.; Alcaraz, C.F. (2001). Content of bioactive compounds in pungent spice red pepper (paprika) as affected by ripening and genotype. Journal of the Science of Food and Agriculture, 81: 1580-1585.
- Halliwel, B. (1996). Antioxidants in human health and disease. Annual Review of Nutrition, 16: 39-50.
- Hansen, E.A.; Funderburk, J.E.; Reitz, S.R.; Ramachandran, S.; Eger, J.E.; McAuslane, H. (2003). Within-plant distribution of *Frankliniella* species (Thysanoptera: Thripidae) and *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthocoridae) in field pepper. Environmental Entomology, 32: 1035-1044.
- Harborne, J.B. y Williams, C.A. (2000). Advances in flavonoid research since 1992. Phytochemistry, 55: 481-504.
- Harlan, J.R. (1992). Crops and Man. Second edition. ASA-CSSA. Madison, E.E.U.U..
- Hertog, M.G.L.; Holleman, P.C.H.; Katan, M.B. (1992). Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in the Netherlands. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 40: 2397-2383
- Ho, L.C. y White, P. J. 2005. A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. Annals of Botany, 95, 571-581.
- Holloman, P.C.H.; Katan, M.B. (1999). Dietary flavonoids: intake, health effects and bioavailability. Food and Chemical Toxicology, 37: 937-942.
- 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: 1713-1720.

Hurtado-Hernández H y Smith PG. 1985. Inheritance of mature fruit colour in *Capsicum annuum* L. J. Hered. 76: 211-213.

I.B.P.G.R. (1983). Genetic Resources of *Capsicum*. A global plan of action. I.B.P.G.R. Secretariat. Roma, Italia

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Jeppson, L.R.; Keifer, H.H.; Baker, E.W. (1975). Mites, injurious to Economic Plants. University California Press, Berkeley, E.E.U.U..

Kadri-Bozokalfa, M.; Kilic, M. (2010). Mathematical modeling in the estimation of pepper (*Capsicum annuum* L.) Fruit Volume. Chilean Journal of Agricultural Research, 70: 626632.

Kaul, T.N.; Middleton, J.E.; Ogra, P.L. (1985). Antiviral effect of flavonoids on human viruses. Journal of Medical Virology, 2: 235-238.

Kuklinsk, C. (2003). Nutrición y Bromatología. Omega S.A, Barcelona, España

Lacasa, A. (1990). Ácaros y tisanópteros en los cultivos protegidos mediterráneos. En: FIAPA. (Ed.). I Curso Internacional sobre cultivos protegidos en zonas de clima árido y subárido. FIAPA, Almería, España 257-271

Latham, M.C. (2000). Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Colección FAO: Alimentación y Nutrición no 29. FAO, Roma, Italia.

Lee, Y.; Howard, L.R.; Villalón, B. (1995). Flavonoids and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. Journal of Food Science, 60: 473-476.

Lee JJ, Crosby KM, Pike LM, Yoo KS y Leskovar D. (2005) Impact of genetic and environmental variation on development of flavonoids and carotenoids in pepper (*Capsicum* spp.). Sci. Hortic. 341-352.

Llacer, G. (2006). Mejora genética de la calidad de las plantas. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Le changement climatique: le bilan scientifique. La documentation française 12/2/2010

Marín, A.; Ferreres, F.; Tomás Barberán, F.A.; Gil, M.I. (2009). Characterization and quantization of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Journal Agricultural Food Chemistry, 52: 3861-3869.

Maroto, J.V. (1989). Horticultura herbácea especial. Mundi-Prensa. Madrid, España.

McLeod, M.J.; Guttman, S.I. y Eshbaugh, W.H. (1982). Early Evolution of Chili Peppers (Capsicum). *Economy Botany*, 36: 361-368

Moreno, M.M.; Ribas, F.; Moreno, A.; Cabello, M.J. (2003). Respuesta fisiológica del pimiento (*Capsicum annum* L.) a distintas dosis de riego por goteo. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1: 65-74.

Munns, R. y Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant. Biol.*, 59, 651–681.

Namesny Vallespir, A. (1996). Pimientos: compendios de horticultura. Horticultura, Barcelona, España

Nazzaro, F.; Caliendo, G.; Arnesi, G.; Veronesi, A.; Sarzi, P.; Fratianni, F. (2009). Comparative content of some bioactive compounds in two varieties of *Capsicum annum* L. Sweet pepper and evaluation of their antimicrobial and mutagenic activities. *Journal of Food Biochemistry*, 33: 852-868.

Nuez, F.; Gil-Ortega, R.; Costa, J. (2003). El cultivo de pimiento, chiles y ajíes. MundiPrensa, Madrid, España.

Oliver Tickell, 2009: Kioto 2. Como gestionar el efecto de invernadero global. Icaria Editorial, Barcelona.

OMS/OMM/PNUMA. Cambio Climático y Salud Humana- Riesgos y Respuestas. Ginebra 2003.

P.D.H.P.C. (2007). Plagas y enfermedades: chiles y pimientos, guía de identificación y manejo. Meister Media, Willoughby, Ohio, E.E.U.U..

Pickersgill, B. (1989). The genus *Capsicum*: a multidisciplinary approach to the taxonomy of cultivated and wild plants. *Biol Zent Bl journal*, 107: 381-389.

Pimentel, D. (2006). Soil erosion: a food and environmental threat. *Environment Development and Sustainability*, 8(1), 119e137.

Pimentel, D., & Pimentel, M. (2006). Global environmental resources versus world population growth. *Ecological Economics*, 59(2), 195e198.

Raigón, M.D. (2007). Alimentos Ecológicos, calidad y salud. Junta de Andalucía y SEAE. Valencia, España.

Rodríguez, R. (1990). Principales plagas y enfermedades en el cultivo del pimiento en las Islas Canarias. *Agrícola Vergel*, 7: 577-580.

Rodríguez, M.D. (1991). Trips. En: Secretaría General Técnica del M.A.P.A.. (Ed.). Plagas del tomate: Bases para el control integrado. M.A.P.A, Madrid, España, 89-98 pp.

Rodríguez-Burruezo, A.; Pereira, L.; Fita, A. 2016. 21. Pimiento. pp. 405-426. En JI Ruiz de Galarreta, J Prohens y R Tierno (eds.), Las variedades locales en la mejora genética de plantas. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria, España

Rodríguez-Burruezo, A.; Kollmannsberger, H.; Gonzalez-Mas, C.; Nitz, S.; Nuez, F. (2010). HS-SPME Comparative Analysis of Genotypic Diversity in the Volatile Fraction and Aroma Contributing Compounds of *Capsicum* fruits from the *annuum-chinensefrutescens* Complex. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 4388-4400

Rodríguez-Burruezo, A.; Prohens, J.; Raigón, M.D. y Nuez, F. (2009). Variation for bioactive compounds in ají (*Capsicum baccatum* L.) and rocoto (*C. pubescens* R. & P.) and implications for breeding. *Euphytica*, 170: 169-181

Roff, M.N.M.; Rahman, M.T.; Norowi, H.M.; Green, S.K. (2006). Dynamics and spatial distribution of *Aphis gossypii* and incidence of aphid borne virus diseases on bell pepper planted under protective structures and open field. *Acta horticulturae*, 710: 441-446.

Ruiz, H. (1952). Relación histórica del viaje que hizo a los reinos de Perú y Chile en botánico D. Hipólito Ruiz en el año 1777 hasta 1788, en cuya época regreso a Madrid. Vol. I. Real Academia de Ciencias Exactas, Física y Naturales, Madrid, España.

Russo, V.M.; Howard, L.R. (2002). Carotenoids in pungent and non-pungent peppers at various developmental stages grown in the field and glasshouse. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 82: 615-624.

Sádaba, S.; Aguado, G.; Sanz de Galdeano, J.; del Castillo García, J. A.; Uribarri, A. (2004). Pimiento en invernadero guía de cultivo. *Navarra Agraria*, 144: 7-13

Sancho, J.; Navarro, F. (1957). Pimientos y Pimentón. Universidad de Murcia, Murcia, España.

Scott-Mon Crieff, C. (2000). El libro de las vitaminas. Ediciones B S.A., Barcelona, España.

Shewfelt, R.L. (2000). Fruits and vegetables quality. En: Shewfelt, R.L.; Bruckner, B. (Eds.). *Fruits and vegetables quality. An integrated view*. CRC Press, Londres, Reino Unido. 144-157 pp.

Smith, H. (1982). Light Quality, Photoreception and Plant Strategy. *Annual Review of Plant Physiology*, 33:481-518

Soler, S.; Diez, M.J.; Rosello, S.; Nuez, F. (1999). Movement and distribution of tomato spotted wilt virus in resistant and susceptible accesions of *Capsicum* spp. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 21: 317-325.

- Somos, A. (1984). The paprika. Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungría.
- Stern Nicholas, 2006: The Economics of Climate Change, Cambridge University Press, p. 193
- Stern Nicholas, 2006: The Economics of Climate Change, Cambridge University Press, p. 65.
- Tello, J.; Lacasa, A. (1982). Daños del acaro Poliphagotarsonemus latus (Banks) en el cultivo bajo plástico. I.T.E.A., 47: 48-54.
- The World Bank, 2010: World Development Report: Development and Climate Change, Washington D.C, p.73.
- UNFPA 2009: Facing a Changing World: women, population and climate. New York.
- UNDP, 2008: Human Development Report 2007-2008 Fighting Climate Change, New York, p. 95
- Van Derweken, J.E.; Wilcox-Lee, D. (1988). Influence of plastic mulch and type and frequency of irrigation on growth and yield of bell pepper. HortScience, 23: 985-988.
- Vidal, J.L. (2003). Efectos del factor térmico en el desarrollo y crecimiento inicial de pimiento (*Capsicum annuum* L.) Cultivado en campo. Tesis Doctoral. Maestría en Ciencias Agrarias. Orientación: Producción sostenible. México
- Vörösmarty C.J. et al., 2010: Global threats to human water security and river biodiversity, 30 September 2010/ vol 467/ Nature/555, Macmillan Publishers Limited.