

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DEL PIMIENTO	2
1.1.1. Origen.....	2
1.1.2. Descripción taxonómica y botánica del pimiento.....	2
1.1.3. Fisiología de la planta.....	5
1.1.4. Importancia económica.....	7
1.1.5. Plagas, enfermedades y fisiopatías.....	8
1.1.5.1. Plagas.....	8
1.1.5.2. Enfermedades.....	13
1.1.5.3. Fisiopatías.....	18
1.2. MANEJO DEL CULTIVO BAJO INVERNADERO.....	20
1.2.1. Cultivo bajo invernadero.....	20
1.2.2. Preparación del suelo.....	25
1.2.3. Requerimientos edafoclimáticos.....	26
1.2.4. Particularidades del cultivo.....	28
1.3. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO.....	32
1.3.1. Producción integrada.....	32
1.3.1.1. Antecedentes, definición y objetivos de la PI.....	32
1.3.1.2. Principios de la PI.....	33
1.3.1.3. La PI en España.....	35
1.3.1.4. La PI en la Región de Murcia.....	35
1.3.1.4.1. Normas técnicas de PI de pimiento en invernadero.....	36
1.3.1.5. Perspectivas de futuro.....	44
1.3.2. Cultivo sin suelo.....	44
1.3.2.1. Concepto del cultivo sin suelo.....	44
1.3.2.2. Sustratos.....	46
1.3.2.3. El agua de riego en hidropónico.....	47
1.3.2.4. Fertilización.....	49

1.3.2.5. Control de plagas.....	50
1.3.3. Cultivo ecológico.....	51
1.3.3.1. Normativa.....	51
1.3.3.2. Control.....	52
1.3.3.3. Fertilización.....	53
1.3.3.4. Control de plagas, enfermedades y malas hierbas.....	55
1.3.3.5. Desarrollo y evolución de la AE en España.....	56
1.4.-ASPECTOS QUÍMICOS Y FISIOLÓGICOS DEL FRUTO.....	59
1.4.1. Estructura anatómica del fruto.....	59
1.4.2. Morfología.....	60
1.4.3. Cuajado.....	60
1.4.4. Maduración.....	61
1.4.5. Actividad respiratoria.....	61
1.4.6. Producción de etileno.....	62
1.4.7 Composición química y valor nutritivo.....	63
1.4.7.1. Vitaminas.....	63
1.4.7.2. Capsaicina.....	64
1.4.7.3. Pigmentos.....	65
1.4.7.4. Carbohidratos.....	65
1.4.7.5. Fibra.....	66
1.4.7.6. Otros componentes.....	66
1.5.-EFECTO DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO SOBRE LA CALIDAD DEL FRUTO.....	66
2. OBJETIVOS.....	69
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	71
3.1. Material vegetal.....	72
3.2. Condiciones de cultivo.....	72
3.3. Toma y preparación de muestras.....	73

3.3.1. Fruto.....	73
3.4. Técnicas analíticas utilizadas.....	74
3.4.1. Separación de la fracción lipofílica e hidrofílica del fruto de pimiento.....	74
3.4.2. Determinación de carotenos totales.....	75
3.4.3. Determinación de clorofilas.....	75
3.4.4. Determinación de compuestos fenólicos totales.....	76
3.4.5. Determinación de la capacidad antioxidante.....	76
3.4.5.1 Fracción hidrofílica.....	77
3.4.5.2 Fracción lipofílica.....	78
3.4.6. Determinación de azúcares solubles.....	79
3.4.7. Determinación de ácidos orgánicos.....	79
3.4.8. Contenido de agua.....	80
3.4.9. Contenido de NO ₃ ⁻	80
3.4.10. Residuos de plaguicidas en frutos de pimiento.....	80
3.5. Análisis estadístico.....	81
4. RESULTADOS.....	82
4.1. Efecto de los diferentes sistemas de cultivo sobre la actividad antioxidante de los frutos de pimiento en los estados de maduración verde y rojo.....	83
4.1.1. Actividad antioxidante de la fracción hidrofílica.....	83
4.1.2. Actividad antioxidante de la fracción lipofílica.....	85
4.2. Efecto de los sistemas de cultivo sobre la concentración de compuestos con actividad antioxidante en la fracción lipofílica.....	88
4.2.1. Clorofila.....	88
4.2.2. β-Carotenos.....	90
4.3. Efecto de los diferentes sistemas de cultivo sobre la concentración de compuestos con actividad antioxidante en la fracción hidrofílica.....	92
4.3.1. Compuestos fenólicos.....	92
4.3.2. Ácidos orgánicos.....	94

4.3.2.1. Ácido málico.....	94
4.3.2.2. Ácido ascórbico.....	97
4.3.2.3. Ácido cítrico.....	98
4.4. Efecto de los diferentes sistemas de cultivo sobre la concentración de glucosa, fructosa y sacarosa en frutos de pimiento.....	100
4.4.1. Glucosa.....	100
4.4.2. Fructosa.....	102
4.4.3. Sacarosa.....	103
4.5. Relación de la AAH y la AAL con la concentración de los diferentes compuestos.....	104
4.6. Efecto de los diferentes sistemas de cultivo sobre el contenido de agua de los frutos de pimiento.....	105
4.7. Efecto de los diferentes sistemas de cultivo sobre el contenido de NO ₃ ⁻ en frutos de pimiento.....	107
4.8. Efecto de los sistemas de cultivo sobre los residuos de plaguicidas en frutos de pimiento.....	108
5. DISCUSIÓN.....	109
6. CONCLUSIONES.....	116
7. BIBLIOGRAFÍA.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Introducción

- Figura 1.1.** *Superficie de Agricultura ecológica (ha) por Comunidades Autónomas*.....57
- Figura 1.2.** *Composición de los tipos de Superficie en Agricultura Ecológica*.....57
- Figura 1.3.** *Fórmula estructural de los capsacinoides*.....63

Material y métodos

- Figura 3.1.** *Localización de los invernaderos*.....72

Resultados

- Figura 4.1.** *Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la actividad antioxidante en la fase hidrofílica (AAH) de frutos en estado de maduración verde y rojo*.....85
- Figura 4.2.** *Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la actividad antioxidante en la fracción lipofílica (AAL) de frutos en estado de maduración verde y rojo*.....87
- Figura 4.3.** *Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de clorofila a y b en frutos en estado de maduración verde y rojo*.....90
- Figura 4.4.** *Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de β -caroteno en frutos en estado de maduración verde y rojo*.....92

Figura 4.5. <i>Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de compuestos fenólicos en frutos en estado de maduración verde y rojo.....</i>	<i>94</i>
Figura 4.6. <i>Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de ácido málico en frutos en estado de maduración verde.....</i>	<i>97</i>
Figura 4.7. <i>Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de ácido ascórbico en frutos en estado de maduración verde y rojo.....</i>	<i>98</i>
Figura 4.8. <i>Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de ácido cítrico en frutos en estado de maduración verde y rojo.....</i>	<i>99</i>
Figura 4.9. <i>Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de glucosa en frutos en estado de maduración verde y rojo.....</i>	<i>102</i>
Figura 4.10. <i>Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de fructosa en frutos en estado de maduración verde y rojo.....</i>	<i>103</i>
Figura 4.11. <i>Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de sacarosa en frutos en estado de maduración verde y rojo.....</i>	<i>104</i>
Figura 4.12. <i>Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre el contenido de nitrato en frutos de pimiento.....</i>	<i>107</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Introducción

Tabla 1.1. Clasificación de cultivares de fruto grande y dulce (Pochard, 1966).....	3
Tabla 1.2. Niveles foliares de referencia para cultivo del pimiento (%sms).....	30
Tabla 1.3. Niveles de nutrientes en solución nutritiva recomendada para un cultivo de pimiento en cultivo sin suelo.	49
Tabla 1.4. Composición química y valor nutritivo de pimientos dulces y picantes por 100g de producto comestible (Grubben, 1977).....	62

Material y métodos

Tabla 3.1. Fechas de recolección.....	73
--	----

Resultados

Tabla 4.1. Efecto de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de la cosecha sobre la actividad antioxidante de la fracción hidrofílica (AAH) de pimiento en estado de maduración verde y rojo, expresados en índice TEAC.....	84
Tabla 4.2. Efecto del sistema de producción (E, PI y SS) y de la cosecha sobre la actividad antioxidante de la fracción lipofílica (AAL) de pimiento en estado de maduración verde y rojo, expresado en índice TEAC.....	86
Tabla 4.3. Efecto de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de las cosechas, sobre el contenido de clorofila a (Cl a) y clorofila b (Cl B) en pimiento en estado de maduración verde y rojo, expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{PF}$	89

Tabla 4.4. <i>Efecto de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de la cosecha sobre el contenido de β-caroteno, en pimiento en estado de maduración verde y rojo, expresado en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{PF}$.....</i>	91
Tabla 4.5. <i>Efecto del sistema de producción (E, PI y SS) y de la cosecha sobre el contenido de compuestos fenólicos, en pimiento en estado de maduración verde y rojo, expresado en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{PF}$.....</i>	93
Tabla 4.6. <i>Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de ácidos orgánicos (málico, ascórbico y cítrico), en frutos en estado de maduración verde y rojo expresad en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{PF}$.....</i>	96
Tabla 4.7. <i>Efecto de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de la cosecha sobre el contenido de azúcares solubles (sacarosa, glucosa y fructosa), en pimiento en estado de maduración verde y rojo, expresado en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{PF}$.....</i>	101
Tabla 4.8. <i>Correlación de Pearson entre la actividad antioxidante del fruto de pimiento en estado de maduración verde y rojo y la concentración de diversos compuestos.....</i>	105
Tabla 4.9. <i>Efecto de los sistemas de cultivo (E, PI, SS) y de la cosecha sobre el contenido de agua en frutos en estado de maduración verde y rojo.....</i>	106
Tabla 4.10. <i>Efecto de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de la cosecha sobre los residuos de plaguicidas.....</i>	108

1. Introducción

1.1. Características del cultivo del pimiento

1.1.1. Origen

El pimiento es originario de Bolivia y Perú, donde además de *Capsicum annuum* L. se cultivaban al menos otras cuatro especies. Fue traído al Viejo Mundo por Colón en su primer viaje (1493). En el siglo XVI ya se había difundido su cultivo en España, desde donde se distribuyó al resto de Europa y del mundo con la colaboración de los portugueses.

Su introducción en Europa supuso un avance culinario, ya que vino a complementar e incluso sustituir a otro condimento muy empleado como era la pimienta negra (*Piper nigrum* L.), de gran importancia comercial entre Oriente y Occidente.

1.1.2. Descripción taxonómica y botánica del pimiento.

Taxonomía

El pimiento pertenece al orden *Solanales*, dentro del cual hay comprendidas unas treinta familias, siendo las Solanáceas la que corresponde al pimiento.

De sus numerosas especies, más de la mitad pertenecen al género *Solanum*, repartiéndose el resto en más de unos noventa géneros, en los cuales dominan las hierbas y arbustos, sin faltar los árboles y las lianas. Además del pimiento, la familia de las solanáceas engloba un amplio grupo de plantas cultivadas de gran interés económico, como son la patata (*Solanum tuberosum* L.), el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), el tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), etc.

La mayor parte de las variedades de pimiento cultivadas pertenecen a la especie *Capsicum annuum* L., por lo que es éste el nombre científico del pimiento.

Algunos autores sólo reconocen una especie (*C. annuum*), que engloba toda la variabilidad genética existente (Bailey, 1977). Sin embargo otros autores distinguen dos especies:

Capsicum annuum L. y *Capsicum frutescens* L., que difieren fundamentalmente en el número y color de las flores por inflorescencia, forma y tipo de frutos, duración vegetativa, etc. Se incluyen dentro de *C. annuum* hasta siete variedades botánicas, en función principalmente de la forma y tamaño de los frutos: var. *Abreviatum* Fingerh, var. *Acuminatum* Fingerh, var. *Cerasiforme* (Miller) Irish, var. *Conoides* (Miller) Irish, var. *fasciculatum* (Styrt) Iris, var. *grossum* L. Sendt y var. *longum* (DC) Sendt. En *C. frutescens* L. se distinguen la variedad *baccatum* plurianual y de aspecto arbustivo (Purseglove, 1974).

Tabla 1.1. Clasificación de cultivares de fruto grande y dulce (Pochard, 1966).

A	Sección longitudinal cuadrangular	Variedad tipo
A1	Superficie lisa, pedúnculo no hundido, muy carnoso.	California Wonder
A2	Pedúnculo hundido, bastante carnoso, lóbulos marcados.	Quadrato d'Asti
A3	Pedúnculo hundido, medianamente carnoso, superficie asurcada.	Carré Doux Sverka
A4	Peso menor de 100gr, carne fina.	
B	Sección longitudinal rectangular	Variedad tipo
B1	Relación longitud/anchura (l/a) inferior a 2	Morro de vaca
B2	Relación l/a superior a 2	Dulce de España
B3	Troncocónico, peso aproximado 100gr	Ruby King
B4	Peso inferior a 100gr.	Doux Aurore, Jade
C	Sección longitudinal triangular	Variedad tipo
C1	Muy largo, puntiagudo	Cuerno de toro
C2	Muy largo, obtuso	Doux d'Alger
C3	Alargamiento medio, hombros largos	Nagerano, Infantes
C4	Fruto corto, frecuentemente erecto	Pico de Mendavia
F	Fruto atomatado	Topepo, Pallagi
N	Fruto subsférico	Ñora
P	Fruto acorazonado	Morrón de conserva

Fuente: Nuez y col.,. (1996)

Desde un punto de vista práctico se distinguen tres grupos varietales (Maroto, 1989)

- Variedades dulces: Suelen tener frutos de tamaño grande, son los que se cultivan en invernaderos, y su cultivo está muy extendido para su consumo en fresco y la industria conservera.

- Variedades con sabor picante: Muy cultivadas en Sudamérica, suelen ser variedades de fruto largo y delgado.
- Variedades para la obtención de pimentón, que se clasifican realmente como un subgrupo de las variedades dulces:

Descripción botánica

El pimiento es una planta anual herbácea, con sistema radicular pivotante y profundo que puede llegar hasta 70-120 cm, provisto y reforzado de un número elevado de raíces adventicias. El tallo de crecimiento limitado y erecto, con un porte que en término medio puede variar entre 0,5 y 1,5 m. Cuando la planta adquiere cierta edad, los tallos se lignifican ligeramente. Hojas lampiñas, enteras, ovales o lanceoladas con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un pecíolo largo o poco aparente.

Las flores poseen una corola blanquecina, aparecen solitarias en cada nudo y son de inserción aparentemente axial. Su fecundación es claramente autógama, no superando el porcentaje de alogamia el 10 por 100.

El fruto es una baya hueca, semicartilaginosa y deprimida, de color variable (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco); algunas variedades van pasando del verde al anaranjado y al rojo a medida que van madurando. Su tamaño es variable, pudiendo pesar desde escasos gramos hasta más de 500 gramos. Las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica de disposición central. Son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 mm.

1.1.3. Fisiología de la planta.

En el ciclo del cultivo se diferencian las siguientes fases:

- **Germinación:** Es un proceso complejo en el que se distinguen tres fases, la fase de hidratación, la de germinación estricta y la de crecimiento. Los cultivares de *C. annuum* no presentan latencia seminal, si las semillas están inmaduras se

retrasa la germinación, sobre la germinación inciden diversos factores, destacando la necesidad de humedad y aireación, así como un rango térmico de 20-30 °C. A temperaturas próximas a 30 °C la germinación es más rápida que con temperaturas más bajas. A 35 °C no se produce germinación.

- **Crecimiento vegetativo:** El crecimiento dura durante todo el cultivo, el crecimiento es simpoidal (de cada nudo salen 2 o 3 tallos).

- **Floración:** Para que se produzca la floración, se materializa con la presencia mínima de 12-14 hojas, es una planta refloreciente y flores solitarias.

- **Fructificación:** No todas las flores se desarrollan a frutos. El término cuajado indica que se ha iniciado el desarrollo del fruto. La proporción de cuajado depende de los siguientes factores: En primer lugar existe una correlación negativa entre el número de frutos en desarrollo y el cuajado de nuevas flores. Entre los factores exógenos, la reducción de la intensidad luminosa reduce el porcentaje de cuajado, quizás el factor externo más importante es la temperatura. A temperaturas diurnas superiores a 30 °C el cuajado es muy escaso, aumentando este a medida que la temperatura baja hasta un óptimo de 20 °C. Podemos decir que cuando la temperatura es menor de 10 °C durante la floración, la fructificación si se produce es partenocárpica y los frutos así formados son de pequeño tamaño y sin semillas. Una planta joven sometida durante la noche a una temperatura de 12 °C produce un mayor número de flores que esa misma planta sometida a temperaturas nocturnas de 18 °C, las bajas temperaturas nocturnas (8-10 °C) reducen la viabilidad del polen, pero favorecen la formación de frutos partenocárpicos. No hay técnicas de cuajado salvo la temperatura, para que se produzca el cuajado del fruto en pimiento California la temperatura tiene que ser mayor de 16 °C y en Lamuyo mayor de 10 °C. El fruto se desarrolla entre 35-50 días.

- **Maduración:** La madurez fisiológica se alcanza cuando está verde y vira a rojo o amarillo. Durante la maduración del fruto se producen cambios cuantitativos en su composición asociados a cambios cualitativos de color, sabor, textura y olor.

Un factor decisivo en la maduración es la temperatura, siendo por lo común temperaturas necesarias entre 15-35 °C para una adecuada maduración.

1.1.4. Importancia económica

El éxito del pimiento radica en que es un cultivo con tres destinos de consumo: pimiento en fresco, para pimentón y para conserva.

El pimiento es uno de los cultivos hortícolas bajo invernadero con mayor superficie cultivada en nuestro país, localizándose casi la mitad de la producción en Almería, Alicante y Murcia. La superficie total destinada al cultivo del pimiento en 2003 fue de 22.388 ha, de las cuales 336 ha eran de secano y 22.052 ha de regadío (9.865 al aire libre y 12.187 ha protegidas). La producción total a nivel nacional representaba para este año 1.056,182 toneladas. Las provincias de mayores producciones son: Almería con 516.000 t y Murcia con 158.945 t (25 y 15 % del total de la producción nacional, respectivamente). En ellas el cultivo de pimiento es principalmente bajo invernadero. La principal zona productora en la Región de Murcia se localiza en el Campo de Cartagena, concretamente en Torre Pacheco, San Javier, San Pedro del Pinatar y Cartagena.

La demanda de los mercados europeos de pimientos frescos durante todo el año, ha crecido espectacularmente y ha tenido como consecuencia el desarrollo del cultivo en invernaderos en todo el litoral mediterráneo español. Durante los tres últimos años los principales países de destino de nuestro pimiento fresco se mantiene invariables, destacando el papel liderazgo del mercado alemán, que en 1997, absorbe la impresionante cifra del 40% de nuestra exportación, también es decisivo el mercado francés, con un 22%, y, a mayor distancia, el holandés (12%) y los mercados italiano y británico (9 y 8% respectivamente).

Las modificaciones en el comercio internacional de frutas y hortalizas está condicionando en buena medida la expansión del sector, los agentes que conforman la cadena de producción y sus estrategias, pero sin duda el mayor cambio viene representado por los avances tecnológicos: comunicaciones en tiempo real, transporte, tecnología del frío, atmósfera controlada, etc. Estas novedades determinan y explican el que se hayan incrementado en un 100% las expediciones al exterior de

nuestras frutas y hortalizas, siguiendo una tendencia que no hará sino reforzarse en el futuro.

Dentro de la Unión Europea los principales países exportadores de pimiento fresco son Países Bajos y España. Hay que tener presente, sin embargo, que aunque sus cifras sean similares, las exportaciones realizadas por Holanda comprenden la reexportación de pimientos procedentes de otros países entre otros y especialmente España. (Mapa 2003).

1.1.5. Plagas, enfermedades y fisiopatías

1.1.5.1. Plagas

Las principales plagas que afectan al cultivo de pimiento son:

Ácaros

- **Araña roja** (*Tetranychus urticae*, *T. turkestani* y *T. ludeni*)

Tetranychus urticae es la más común en los cultivos hortícolas protegidos, pero la biología, ecología y daños causados son similares, por lo que se abordan las tres especies de manera conjunta.

Es un ácaro muy prolífico que realiza puestas muy numerosas en el envés de las hojas donde se desarrollan las larvas y adulto, causando decoloraciones, punteaduras o manchas amarillentas que pueden apreciarse en el haz como primeros síntomas produciendo posteriormente la defoliación de la planta y reduciendo la cosecha. Los ataques más graves se producen en los primeros estados fenológicos. Las temperaturas elevadas y la escasa humedad relativa favorecen el desarrollo de la plaga.

- **Araña blanca** (*Polyphagotarsonemus latus*)

Las larvas y adultos de este ácaro suelen vivir en las hojas jóvenes y en las yemas de los entre los esbozos de hojas en formación, de los cuales se alimentan. Las picaduras en estos órganos desorganizan los tejidos y dan lugar a hojas deformadas, a menudo filiformes, con las nerviaduras sinuosas y en relieve, de donde se deriva el nombre de acariosis deformante. Si el ataque es fuerte el ápice de la planta amarillea y se detiene el crecimiento.

Insectos

- **Mosca blanca** (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*)

Las partes jóvenes de las plantas son colonizadas por los adultos, realizando las puestas en el envés de las hojas. De éstas emergen las primeras larvas, que son móviles. Tras fijarse en la planta pasan por tres estados larvarios y uno de pupa, este último característico de cada especie. Los daños directos (amarillamientos y debilitamiento de las plantas) son ocasionados por larvas y adultos al alimentarse, absorbiendo la savia de las hojas. Los daños indirectos se deben a la proliferación de negrilla sobre la melaza producida en la alimentación, manchando y depreciando los frutos y dificultando el normal desarrollo de las plantas.

Ambos tipos de daños se convierten en importantes cuando los niveles de población son altos. Otros daños indirectos se producen por la transmisión de virus. *Trialeurodes vaporariorum* es transmisora del virus del amarillamiento en cucurbitáceas. *Bemisia tabaci* es potencialmente transmisora de un mayor número de virus en cultivos hortícolas y en la actualidad actúa como transmisora del virus del rizado amarillo de tomate (TYLCV), conocido como “virus de la cuchara”.

- **Pulgón** (*Aphis gossypii*, *Myzus persicae* y *Neomizus circumflexus*)

Son las especies de pulgón más comunes y abundantes en los invernaderos. Presentan polimorfismo, con hembras aladas y ápteras de reproducción vivípara. Las formas áptera del primero presentan sifones negros en el cuerpo verde o amarillento,

mientras que las de *Myzus* son completamente verdes (en ocasiones pardas o rosadas). Forman colonias y se distribuyen en focos que se dispersan, principalmente en primavera y otoño, a través de las hembras aladas.

Debido a su gran prolificidad pueden causar importantes daños en poco tiempo, debilitando y defoliando las plantas, pudiendo provocar ataques de negrilla y ser transmisores de enfermedades viróticas.

- **Trips** (*Frankliniella occidentales*)

Los trips son insectos que poseen flecos en los bordes alares que aumentan la superficie alar, son vaciadores de células, que poseen estiletes cortos con los que rasgan el tejido e inyectan saliva para la lisis de tejidos y células, succionando el jugo celular

Frankliniella occidentalis es el más importante y el único capaz de vivir en el fruto. Los adultos colonizan los cultivos realizando las puestas dentro de los tejidos vegetales en hojas, frutos y, preferentemente, en flores (son florícolas), donde se localizan los mayores niveles de población de adultos y larvas nacidas de las puestas. Los daños directos se producen por la alimentación de larvas y adultos, sobre todo en el envés de las hojas, dejando un aspecto plateado en los órganos afectados que luego se necrosan. El daño indirecto es el que acusa mayor importancia y se debe a la transmisión del virus del bronceado del tomate (TSWV), que afecta a pimiento, tomate, berenjena y judía.

- **Orugas** (*Spodoptera exigua*, *Spodoptera littoralis*, *Heliothis armigera*, *Heliothis peltigera*, *Chrysodeixis chalcites*, *Autographa gamma*)

La principal diferencia entre especies en el estado larvario se aprecia en el número de falsas patas abdominales (5 en *Spodoptera* y *Heliothis* y 2 en *Autographa* y *Chrysodeixis*), o en la forma de desplazarse en *Autographa* y *Chrysodeixis* arqueando el cuerpo (orugas camello). La presencia de sedas (“pelos” largos) en la superficie del cuerpo de la larva de *Heliothis*, o la coloración marrón oscuro, sobre

todo de patas y cabeza, en las orugas de *Spodoptera littoralis*, también las diferencia del resto de las especies.

La biología de estas especies es bastante similar, pasando por estados de huevo, 5-6 estados larvarios y pupa. Los huevos son depositados en las hojas, preferentemente en el envés, en plastones con un número elevado de especies del género *Spodoptera*, mientras que las demás lo hacen de forma aislada. Los daños son causados por las larvas al alimentarse. En *Spodoptera* y *Heliothis* la pupa se realiza en el suelo y en *Chrysodeixis chalcites* y *Autographa gamma*, en las hojas. Los adultos son polillas de hábitos nocturnos y crepusculares.

Los daños pueden clasificarse de la siguiente forma: daños ocasionados a la vegetación (*Spodoptera*, *Chrysodeixis*), daños ocasionados a los frutos (*Heliothis*, *Spodoptera* y *Plusias* en tomate y *Spodoptera* y *Heliothis* en pimiento) y daños ocasionados en los tallos (*Heliothis* y *Ostrinia*) que pueden llegar a cegar las plantas.

- **Cochinillas** (*Pseudococcus affinis*)

Se trata de un insecto muy polífago y cosmopolita. En los invernaderos de pimientos suelen tener varias generaciones con solapes entre ellas, estando su máximo poblacional en verano. Las condiciones más óptimas para su multiplicación y desarrollo son temperaturas entre 25-30 °C y humedades relativas elevadas.

Las hembras depositan los huevos bajo los filamentos algodonosos que cubren su cuerpo. Los huevos son elípticos, lisos y amarillos. Las larvas neonatas son amarillas y poseen un par de pelos muy finos en el extremo posterior; una vez desarrolladas adquieren un color grisáceo característico. Las pupas tienen una tonalidad rojiza y se protegen debajo de un capullo filamentosos producido por las larvas. Los machos adultos tienen el cuerpo rojo, con el abdomen ligeramente más claro y un par de alas grisáceas más largas que el cuerpo.

La infección puede tener lugar a partir de las malas hierbas presentes en los bordes interiores de los invernaderos. La colonización de las plantas tiene lugar en

sentido ascendente; siendo los estratos medios los de mayor actividad y densidad poblacional. Los daños directos que ocasionan van desde la inyección de saliva a la extracción de savia de la planta, los cuales frenan el crecimiento y ocasionan deformaciones en los órganos en crecimiento. El daño indirecto se debe fundamentalmente a la melaza que segregan tanto las hembras como las larvas que depositan sobre las hojas y frutos y que sirven de sustrato nutricional para el desarrollo de hongos saprófitos productores de la "negrilla" (*Cladosporium* sp.). La capacidad fotosintética de las hojas cubiertas por estos hongos se ve reducida. Las picaduras de las larvas y de las hembras provocan deformaciones foliares, que se manifiestan por recubrimientos del limbo hacia el envés y ligeros abullonados en el haz.

- **Nemátodos** (*Meloidogyne javanica*, *Heterodera* sp., *Tylenchus* sp. y *Dorylaimus* sp.)

El pimiento en invernadero puede verse en atacado por diversos nematodos. Unos afectan al interior de las raíces, como *Heterodera* y *Meloidogyne* y otros al exterior de las mismas, como *Tylenchus* y *Dorilaimus*, los cuales, si bien son menos perjudiciales por su acción directa pueden ser transmisores de enfermedades viróticas.

En el caso de los nematodos que afectan al interior de las raíces, estas muestran ligeras hinchazones y se ramifican intensamente, presentando deformaciones que acaban por construir una masa deforme en todo el sistema radicular. Las plantas atacadas se debilitan, retrasan su desarrollo y reducen su producción. Las heridas que producen los nematodos en las raíces pueden convertirse en entrada de hongos, por lo que es doblemente importante conocer la incidencia de ésta plaga y ejercer un control final sobre la misma. La especie *Meloidogyne incognita* es la que produce mayores daños en invernaderos, ya que sólo se desarrolla con temperaturas elevadas.

1.1.5.2. Enfermedades

Enfermedades fúngicas

Se pueden distinguir cuatro grupos de enfermedades ocasionadas por hongos:

1. Enfermedades de las plántulas y los semilleros: *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Botrytis*.
2. Enfermedades debidas a hongos del suelo: *Phytophthora*.
3. Enfermedades vasculares: *Fusarium* y *Verticillium*.
4. Enfermedades del follaje: *Botrytis*, *Leveillula* y *Cercospora*

- **Pythium** (*Pythium debaryanum* y *P.ultimum*)

Provocan la podredumbre de las semillas en el suelo antes de su emergencia. Su virulencia se ejerce sobre todo en la punta de las raíces y particularmente en la extremidad de la radícula, al principio de la germinación. Una vez que la plátula ha emergido del suelo los ataques en la extremidad de las raíces pueden reducir el vigor de las plantas.

- **Rhizoctonia** (*Rhizoctonia solani*)

Es muy frecuente en suelos hortícolas. Provoca necrosis en raíces, podredumbres o chancros de cuello y podredumbre de órganos en contacto con el suelo. Puede provocar la muerte de plántulas de pimiento a temperaturas comprendidas entre 15 y 35 °C. Las enmiendas orgánicas parecen los mejores medios de restringir los ataques de *R. solani* en los suelos hortícolas.

- **Podredumbre gris** (*Botryotinia fuckeliana*, *Botrytis cinerea*).

Esta es una enfermedad que afecta al cultivo del pimiento y también otras especies de invernadero en todas las fases, desde el semillero hasta el final del cultivo, siendo especialmente virulenta en épocas lluviosas o muy húmedas con

temperaturas de 15 a 20 °C y en plantaciones muy cerradas o invernaderos muy anchos y poco ventilados. Las épocas más propicias son el otoño y el principio de la primavera, que es cuando las esporas de *Botrytis* son más abundantes en la naturaleza.

Botrytis cinerea es un parásito de debilidad, no especializado, que puede comportarse como parásito y saprofito. La penetración tiene lugar a través de una herida o un tallo envejecido o el contacto con una parte afectada. En plántulas produce “damping-off”. En hojas y flores se producen lesiones pardas. En frutos se produce una podredumbre blanda (más o menos acuosa, según el tejido), en los que se observa el micelio gris del hongo. Las principales fuentes de inóculo las constituyen las conidias y los restos vegetales que son dispersados por el viento, salpicaduras de lluvia, gotas de condensación en plástico y agua de riego. La aplicación de fungicidas contra *Botrytis cinerea* es a menudo poco eficaz. El potencial infeccioso de *Botrytis* es siempre elevado, debido a su presencia constante sobre sustratos inertes, en la vecindad de las plantas.

- **Seca o tristeza** (*Phytophthora capsici*)

La virulencia de *Phytophthora* es enorme, siendo capaz de provocar sobre los huéspedes, no sólo la mortalidad de plántulas sino también podredumbres de raíces y del cuello de las plantas adultas. Es sin duda la enfermedad de mayor incidencia económica en el cultivo de pimiento en invernadero y más ampliamente difundida en los suelos hortícolas del levante y sureste español.

La infección por *Phytophthora* puede ser contraída en el semillero o proceder de gérmenes del suelo o aportados por el agua, ya que presenta zoosporas responsables de la diseminación acuática. En la primera fase de ataque de *Phytophthora*, la planta sufre un marchitamiento brusco y total dando la impresión de estar necesitada de agua, con un aspecto que da lugar a la llamada “tristeza”. A la vez se observa una alteración muy típica en la zona del cuello, que consiste en una necrosis de los tejidos de dicha zona. El cuello de la planta se vuelve marrón oscuro, la lesión abarca todo el perímetro de la base del tallo y va ascendiendo hasta secarse

los tejidos superiores por carecer de agua. Tiene lugar una constricción del tallo, lo que afecta a los vasos conductores. La parte aérea manifiesta una marchitez irreversible sin previo amarillamiento. Los síntomas pueden confundirse con la asfixia radicular.

- **Fusariosis** (*Fusarium oxysporum*)

Se trata de una enfermedad vascular cuya incidencia es importante en todas las zonas donde se cultiva el pimiento. Hay varios hongos del género *Fusarium* que atacan al pimiento en invernadero y al aire libre. Son hongos que viven en el suelo de forma saprofítica y atacan a los cultivos cuando las condiciones les son propicias. En las plantas sensibles los vasos leñosos invadidos se llenan completamente de micelio o bien se obstruyen por exudaciones marrones, provocando una enfermedad vascular que se traduce en un amarilleamiento, seguido de marchitez en las hojas. La temperatura óptima para los ataques son los 28 °C, aunque la nutrición insuficiente en calcio vuelve a las plantas más sensibles, pudiendo en este caso mostrarse virulento a 20 °C.

- **Podredumbre blanca** (*Sclerotinia sclerotiorum*)

Hongo polífago que ataca a la mayoría de las especies hortícolas cultivadas. En plántulas produce “damping-off”. En planta produce una podredumbre blanda (no desprende mal olor) acuosa al principio que posteriormente se seca más o menos según la succulencia de los tejidos afectados, cubriéndose de un abundante micelio algodonoso blanco, observándose la presencia de numerosos esclerocios, blancos al principio y negros más tarde. Los ataques al tallo con frecuencia colapsan la planta, que muere con rapidez, observándose los esclerocios en el interior del tallo.

La enfermedad comienza a partir de esclerocios del suelo procedentes de infecciones anteriores, que germinan en condiciones de humedad relativa alta y temperaturas suaves, produciendo un número variable de apotecios. El apotecio cuando está maduro descarga numerosas esporas, que afectan sobre todo a los pétalos. Cuando caen sobre tallos, ramas u hojas producen la infección secundaria.

- **Oidiopsis** (*Leveillula taurica*)

Es un parásito de desarrollo semi-interno y los conidióforos salen al exterior a través de los estomas. En Almería es importante en los cultivos de pimiento y tomate y se ha visto de forma esporádica en pepino, pudiendo llegar a reducir la cosecha hasta en un 40%. Los síntomas que aparecen son manchas amarillas en el haz que se necrosan por el centro, observándose un fieltro blanquecino por el envés. En caso de fuerte ataque la hoja se seca y se desprende. Las solanáceas silvestres actúan como fuente de inóculo. Se desarrolla a 10-35 °C con un óptimo de 26 °C y una humedad relativa del 70%.

Enfermedades bacterianas

- **Roña o sarna bacteriana** (*Xanthomonas campestris*)

En hojas aparecen manchas pequeñas, húmedas al principio que posteriormente se hacen circulares e irregulares, con márgenes amarillos, translúcidas y centros pardos posteriormente apergaminados. En el tallo se forman pústulas negras o pardas y elevadas. Se transmite por semilla. Se dispersa por lluvias, rocíos, viento, etc. Afecta sobre todo en zonas cálidas y húmedas.

- **Podredumbre blanda** (*Erwinia carotovora*)

Bacteria polífaga que ataca a la mayoría de las especies hortícolas. Penetra por heridas e invade tejidos medulares, provocando generalmente podredumbres acuosas y blandas que suelen desprender olor nauseabundo. Externamente en el tallo aparecen manchas negruzcas y húmedas. En general la planta suele morir. En frutos también puede producir podredumbres acuosas. Tiene gran capacidad saprofítica, por lo que puede sobrevivir en el suelo, agua de riego y raíces de malas hierbas. Las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad son altas humedades relativas y temperaturas entre 25 y 35 °C.

Enfermedades víricas

Los principales virus que atacan al pimiento son:

- **CMV** (Cucumber Mosaic Virus, Virus del Mosaico del pepino)

Se trasmite mediante vector (pulgones). Los síntomas en hojas son: mosaico verde claro-amarillo en hojas apicales, Clorosis difusa, filimorfismo y rozamiento de nervios. Los síntomas en fruto son: reducción del tamaño, anillos concéntricos y líneas irregulares con la piel hundida.

- **TSWV** (Tomato Spotted Wilt Virus, Virus del Bronceado del Tomate)

Los Trips (*F. occidentalis*) son el principal vector de transmisión. Los síntomas en hojas son: anillos clorótico/necróticos, fuertes líneas sinuosas de color más claro sobre el fondo verde y a veces necrosis apical del tallo. Los síntomas en frutos son: manchas irregulares, necrosis, manchas redondas de color amarillo y necrosis y en ocasiones anillos concéntricos.

- **ToMV** (Tomato Mosaic Virus, Virus del Mosaico del Tomate)

La transmisión es mecánica y mediante semillas. Los síntomas en hojas son: mosaico verde claro-amarillo y reducción del crecimiento. Los síntomas en frutos son: deformación con abollonaduras y necrosis.

- **PMMV** (Pepper Mild Mottle Virus, Virus de las manchas ligeras del pimiento)

La transmisión se produce de forma mecánica, mediante semillas y en las raíces. Los síntomas en hoja son: mosaico foliar (manchas verde oscuro) y a veces muy suaves. Los síntomas en el fruto son: deformaciones, abollonaduras y necrosis.

- **PVY** (Potato Virus Y, Virus Y de la Patata)

Se transmite mediante los pulgones. Los síntomas en hoja son: necrosis de los nervios, defoliaciones y a veces manchas verde oscuro junto a los nervios. Los síntomas en el fruto son: manchas, necrosis y deformaciones.

- **TBSV** (Tomato Bushy Stunt Virus, Virus del Enanismo Ramificado del tomate)

Se transmite por las semillas y raíces. El síntoma en hoja es la presencia de clorosis fuerte en hojas apicales. El síntoma en el fruto es la aparición de manchas cloróticas difusas.

1.1.5.3. Fisiopatías

-Deshidratación de frutos

Es muy frecuente en los invernaderos, después de una época suave, si sobrevienen de forma brusca elevadas temperaturas, los frutos más tiernos sufren manchas en la mitad inferior de los mismos, motivadas, con gran probabilidad, por deshidratación de la carne. Al engordar el pimiento las manchas se agrandan, llegando a constituir focos de pudrición de los frutos. En este caso los frutos serían invendibles. Para que la calidad del fruto no se vea afectada se considera que para los frutos de color verde las pérdidas de peso no pueden superar el 7% (Weichman, 1987).

-Rajado del fruto

Se produce por aportes irregulares de agua y/o altos niveles de humedad relativa en frutos maduros cuando se hincha el mesocarpio por un exceso de agua y rompe la epidermis. La sensibilidad es variable entre cultivares.

-Necrosis apical o “Blossom-end rot”

Los pimientos afectados por “necrosis apical” muestran próximo al ápice zonas de tejido que primero se debilita, observándose una mancha hundida, de color

blanco o grisáceo, húmeda. Luego el tejido se seca y se vuelve de color pardo oscuro. El origen de esta enfermedad es una deficiencia de asimilación de calcio, hecho que ocurre con más frecuencia en plantas poco vigorosas, bajo condiciones de escasez hídrica o riego con aguas salinas (García Morató, 1990). La incidencia de esta alteración fisiológica es irregular entre campañas. En invernadero se presenta especialmente en primavera.

-Golpes de sol

Es una de las alteraciones más comunes en pimiento y se manifiesta a través de una necrosis blanquizca de la zona en que ha incidido el sol. Los frutos más atacados son los que están virando, mientras los de color verde oscuro o rojo resultan menos sensibles (Rabinowich y col., 1983). Se ha comprobado que el daño sólo ocurre en presencia de luz, no es suficiente con el calor. Aunque el calor es imprescindible para que ocurra el daño (entre 40,5 y 42,5 °C), en ausencia de luz tiene efectos protectores. Frutos sometidos a temperaturas altas en oscuridad son capaces de soportar la exposición al sol mejor, un efecto que seguramente ocurra de forma natural debido las oscilaciones térmicas en muchas zonas de cultivo (Rabinowich y col., 1983).

-Asfixia radicular

El pimiento es una de las especies más sensibles a esta fisiopatía. Se produce la muerte de las plantas a causa de un exceso generalizado de humedad en el suelo, que se manifiesta por una pudrición de toda la parte inferior de la planta.

1.2. Manejo del cultivo bajo invernadero.

1.2.1. Cultivo bajo invernadero.

Es un recinto delimitado por una estructura de madera y/o metal, recubierta por vidrio o plástico transparente a la radiación solar, normalmente permanente, y con una altura tal que en su interior se puedan cultivar plantas en épocas en que al aire libre en dicha zona no sería posible conseguir un desarrollo, una floración y fructificación adecuadas. Su forma puede ser variable y dispondrá de accesos y aireación.

El objetivo del invernadero es la producción precoz de pimiento mediante un mejor aprovechamiento de la energía solar durante el invierno. Por otra parte, proporciona un aumento muy considerable de la cantidad y calidad de la cosecha, pudiendo utilizarse especies y variedades de mayor potencial productivo que al aire libre.

Materiales de cubierta.

Los materiales de cubierta es, sin duda uno de los aspectos con mayor influencia en la producción de pimiento bajo invernadero, ya que la modificación de las variables climáticas depende directamente del material empleado. Los principales materiales empleados en la construcción de cubiertas para invernaderos destinados a la producción de pimiento son:

Polietileno (PE)

Es un material derivado del petróleo, de la familia de las poliolefinas, que se fabrica con polímeros de baja densidad y de alta densidad. Tiene un bajo coste y eso lo convierte en el más usado en agricultura. Se adapta a cualquier estructura de invernadero y semiforzados.

Presenta amplia variedad de medidas (anchura, espesor y densidad):

- Baja densidad (0,91-0,93 g/cm³): invernaderos y túneles.
- Alta densidad (0,96 g/cm³): mallas antigranizo o antipulgón.

Polietileno de baja densidad (LDPE)

Posee una alta transmisión de luz visible (PAR) y alta transmisividad en el infrarrojo de onda larga (baja termicidad) y alta transmisión de calor (más pérdidas de calor por conducción). Esto se soluciona aumentando el espesor (más de 400 galgas), aunque se pierde eficacia fotosintética o mediante aditivos: mica, caolín, sílice.

Es sensible a la radiación UV, reduciéndose su vida de utilización. Se soluciona mediante aditivos, pasando a ser PE de larga duración. Posee buenas propiedades mecánicas, como la resistente al desgarro y otras, anti-goteo y anti-polvo, gracias al empleo de aditivos.

Para cubiertas de invernaderos se emplea:

- PELD (larga duración) 720 galgas (180 μ): empleados en Almería.
- PELD térmico 800 galgas (200 μ): empleados en Murcia, con temperaturas más bajas.
- PE térmico 400 galgas (100 μ): suelen durar una campaña.
- Los plásticos suelen durar 2 campañas (sólo transcurre un verano).

Polietileno de alta densidad (HDPE)

Se emplea en mallas que apenas tienen efecto térmico, con distintos fines, como mallas de sombreado y como mallas anti-trips (también llamadas anti-virus) que limitan la entrada de vectores, principalmente moscas blancas y trips. Son ligeras (94 g/m²) y acumulan polvo con facilidad. Es frecuente aumentar su resistencia mediante el empleo de aditivos anti-UV.

Coextrusionado con EVA (6-18%)

Tiene un mayor efecto térmico. Son plásticos multicapa confeccionados con PE por extrusión. Los materiales tricapa están formados por dos capas de PE y una intermedia de EVA, el cual debe tener las características deseadas antigoteo, y las características térmicas, siendo la capa externa la que debe tener las características anti-polvo.

EVA (Etilen-Vinil-Acetato)

Se obtiene por polimerización del etileno con el acetato de vinilo. La cantidad de acetato de vinilo oscila entre un 10-18%, siendo lo más frecuente el 14%. Este compuesto modifica las características térmicas proporcionando mayor termicidad y pérdida de transmisividad, confiere mayor resistencia a la rotura pero menos resistencia a la tracción lo que resulta negativo en zonas ventosas, porque una vez alargado le cuesta volver a su forma inicial. Es bastante flexible y su densidad es $\delta = 0,92-0,93 \text{ g/cm}^3$.

Presenta elevada transmisividad (radiación visible) y buen efecto térmico (opaco a la radiación IF onda larga), sin añadirle ningún aditivo. Con aditivos anti-UV aumenta su duración, pudiendo durar hasta 4 campañas. También se pueden hacer formulaciones antigoteo, pero la capacidad antigoteo se pierde a los 6-8 meses de cultivo y aumenta su capacidad para fijar polvo.

Se suele emplear: EVA de 180 μ (12%) que tiene un efecto térmico similar al PET de 200 μ . Aunque el EVA presenta mayor transmisividad y mayor duración. También se emplea en doble cubierta (75-100 μ), con menor espesor y porcentaje de acetato de vinilo. Las limitaciones que aparecen con polvo y viento se solucionan con los plásticos multicapa.

PVC

Presenta mayor efecto térmico y mayor duración que el EVA y tiene menor resistencia al desgarró. Acumulan bastante polvo, incluso más que el EVA, lo que se evita fabricando el PVC de forma despolarizada. Este material presenta problemas para ajustarlo a la estructura, lo hay flexibles y rígidos y tienen una densidad que oscila entre $\delta = 1,16-1,5 \text{ g/cm}^3$.

Se emplea para cubiertas de invernaderos con un espesor de 100-150 μ y en dobles cubiertas con 40-60 μ . El *PVC* reforzado es resistente al desgarró y a la tracción. Lleva filamentos de este mismo material formando una malla, reduce la luminosidad, por lo que se emplea en los laterales del invernadero.

PMMA (Polimetacrilato de metilo)

Se emplea en forma de doble pared: dos láminas paralelas, separadas de 8 a 10 mm. Presenta alta transmisividad (91%). Es opaco a las radiaciones infrarrojas de onda larga procedentes del suelo. Es un material rígido ($\delta = 1,18 \text{ g/cm}^3$) que filtra los UVB y UVC y su precio es muy elevado, de ahí que se use menos.

Estructuras

Para el cultivo del pimiento puede recomendarse cualquiera de las tipologías de estructura de invernaderos, teniendo en cuenta que con el tipo túnel se alcanzará algo menos de precocidad al dispone de poco volumen de aire interior, lo que le produce mayores altibajos de temperatura. Esto se puede evitar con túneles de grandes dimensiones o empleando protección supletoria (doble lámina, plástico térmico, etc.)

Los invernaderos tipo parral son preferidos por su economía, pero presentan como inconveniente las mayores dificultades de manejo interior. Estos invernaderos son bastante sencillos y están constituidos esencialmente por postes de madera, alambre galvanizado y una cubierta plástica. En la actualidad se tiende a sustituir los

rollizos de eucaliptos, por tubos de hierro galvanizado de 1 a 3 pulgadas de diámetro, que aunque resultan más caras, presentan mayores ventajas. Los invernaderos tipo parral tienen dimensiones variables, aunque lo normal es que tengan entre 30-50 m de largo y 20-25 m de ancho. El porcentaje de ventilación o superficie que ocupan las ventanas con respecto a la superficie cubierta, se aconseja, para este tipo de invernadero, que al menos sea de un 25%.

El invernadero túnel presenta toda su estructura curvada, ya que consta de una serie de arcos formados por tubos de hierro o acero galvanizado separados por 1-3 m. Parte de este arco queda enterrado, aproximadamente 0,5 m, siendo su altura de unos 5 m. Los arcos están unidos entre sí por correas, algunas a nivel del suelo. Las dimensiones de los mismos oscilan entre 4,5 y 9,5 m de ancho (en bitúnel hasta 16 m). En lo que respecta a la ventilación, existen posibilidades de abrir ventanas laterales y cenitales; también se utiliza para ventilación la separación de las láminas laterales de plástico (juntas) o como caso extremo, la ruptura del plástico. En ocasiones posee un frontal que puede ser abatible facilitando la ventilación. Algunos frontales se cubren de lámina rígida, aunque lo más normal es plástico flexible. Parte de este plástico se entierra para fijar y tensar el invernadero. Este tipo de invernadero se emplea mucho en Murcia para clavel.

Entre los inconvenientes que presenta, destacan los problemas derivados de sus dimensiones como la falta de aprovechamiento de espacio y la difícil mecanización en su interior, así como el reducido volumen de aire en su interior, habiendo oscilaciones de temperatura fuertes en su interior. Además suele haber condensaciones en el plástico por la falta de aireación y es difícil climatizarlos. Sus ventajas son su bajo coste y su diafanidad y buena recepción de la luz.

El invernadero tipo capilla presenta cubierta a 2 aguas y sus componentes son de madera, aunque también los hay con elementos metálicos (hierro galvanizado). Pueden cubrirse de vidrio o plástico rígido o flexible. La ventilación puede ser lateral o cenital, presentando menos problemas que en el caso anterior, también resulta más fácil la evacuación de agua, son su fácil construcción y adosado a otros módulos. A

consecuencia de estas ventajas su coste económico suele ser bajo. Por el contrario, presentan un volumen reducido y por tanto problemas de mecanización.

Las estructuras multitúnel son invernaderos formados adosando módulos de entre 6-8 m de ancho cada módulo, formando baterías. Son de estructura metálica, los pilares son tubos o perfiles cuadrados o rectangulares distanciados 2-4 m. En este tipo de estructuras son importantes las canalizaciones de evacuación de agua. Presentan la cubierta con elementos metálicos curvados unidos a otros elementos por bridas, omegas, tornillos, etc. La altura de cumbrera suele ser de unos 5 m y en los laterales de 2-3,5 m y el plástico de cubierta puede ser flexible o rígido.

La ventilación puede ser lateral, enrollando el plástico o por cremalleras y ventanas abatibles, o cenital, con ventanas abatibles de cremallera.

El empleo de estos invernaderos permite la climatización interior, proporcionando una buena hermeticidad y homogeneidad en su interior si bien, requieren una elevada inversión.

1.2.2. Preparación del suelo.

La preparación del suelo pretende conseguir, las mejores condiciones posibles para un óptimo enraizamiento y desarrollo de la planta desde el momento de la plantación.

En el momento de la plantación el suelo debe reunir una serie de condiciones:

- Tener una profundidad que favorezca el desarrollo de las raíces sin dificultad (superior a 60 cm).
- Poseer un buen drenaje, para evitar problemas de encharcamientos y para facilitar el lavado de sales.
- La textura del suelo no deberá ser ni arcillosa ni excesivamente arenosa, prefiriéndose la franca con una estructura adecuada.

- La nivelación será del orden del 2 al 4 por mil o incluso totalmente llana.
- El pH del suelo deberá estar comprendido entre 6 y 7,5 para evitar problemas de carencias.
- El contenido de materia orgánica será superior al 3 %.

1.2.3. Requerimientos Edafoclimáticos

Exigencia en suelos

Las variedades de carne gruesa, destinadas al consumo en fresco, son generalmente más exigentes que las variedades de carne fina, sobre todo en cuanto a la textura del suelo, la salinidad y el contenido de materia orgánica de éstos.

Los suelos arcillosos no son aptos para el pimiento, ya que provocan asfixia radicular y favorecen el desarrollo de ciertas enfermedades del suelo. La arcilla es un factor que reduce el tamaño medio de los frutos con la consiguiente influencia en los precios. Los suelos salinos tampoco son aptos para este cultivo por retrasar considerablemente el desarrollo y afectar desfavorablemente al tamaño de los frutos y a la calidad de la cosecha.

En general, los suelos, al ser cultivados con la intensidad que requiere el invernadero mejoran notablemente en pocos años, siendo normal el aumento de las producciones de pimiento conforme el terreno se va enriqueciendo en materia orgánica y aumentan los niveles de nutrientes durante los primeros años.

Necesidades climáticas del pimiento

Temperaturas

Por ser originario de países cálidos, el pimiento es bastante exigente en calor. El cultivo al aire libre se realiza en las regiones mediterráneas, plantándose en abril o mayo y terminando el cultivo en octubre o noviembre. Gracias a la protección del invernadero, y a la obtención de híbridos de menores exigencias en temperatura,

es posible el cultivo en invierno y primavera. Se estima necesaria una temperatura media mensual comprendida entre los 18 y 22 °C, aunque la más favorable oscila entre los 20 y 25 °C por el día y de 16- a 18 °C por la noche, siendo importante que las diferencias entre el día y la noche no sean grandes, para evitar desarreglos vegetativos con endurecimientos de la planta y caída de flores.

Por debajo de 15 °C la planta retrasa su crecimiento, que se paraliza al llegar a los 10 °C. Con temperaturas superiores a 35 °C, la fecundación es muy deficiente, sobre todo si el ambiente es seco. Sin embargo la planta tolera temperaturas muy elevadas, superiores a los 40 °C, a condición de que exista una elevada humedad ambiente.

Humedad

El pimiento se adapta bien al ambiente confinado tanto de los túneles como de los invernaderos, donde frecuentemente hay una humedad relativa muy elevada, a condición de que no se produzcan cambios bruscos o desajustes entre la humedad y la temperatura. La humedad óptima se sitúa entre el 50% y 70%. Con una humedad relativa superior al 70% se producen situaciones favorables para el desarrollo de enfermedades criptogámicas.

Luminosidad

El pimiento es una planta exigente en luz durante todo su ciclo vegetativo, especialmente en la floración. La falta de luz provoca un cierto ahilamiento de la planta, con alargamiento de los entrenudos y de los tallos, que al quedar más débiles no podrán soportar una cosecha abundante.

Fotoperiodicidad

La duración del fotoperiodo parece tener cierta influencia sobre la vegetación y sobre la fructificación del pimiento, pues es evidente que su cultivo presenta mayores problemas en la estación de días cortos (otoño), que en la de días largos (primavera). No obstante, los problemas que se han presentado en el cultivo del

pimiento en otoño, están influenciados por las condiciones de humedad y temperatura del suelo y del aire que, en esa época, van evolucionando inversamente, disminuyendo la temperatura y elevándose la humedad conforme se van acortando los días. La floración parece estar más condicionada por la temperatura y por la luz que por la duración del fotoperiodo. Aún así, también en otoño, en condiciones de temperatura y luz totalmente favorables, parece haber mayor propensión a la caída de flores que en primavera.

1.2.4. Particularidades del cultivo

Marcos de plantación

El marco de plantación se establece en función del porte de la planta, que a su vez dependerá de la variedad comercial cultivada. El más frecuentemente empleado en los invernaderos es de 1 metro entre líneas y 0,5 metros entre plantas, aunque cuando se trata de plantas de porte medio y según el tipo de poda de formación, es posible aumentar la densidad de plantación a 2,5-3 plantas por metro cuadrado. También es frecuente disponer líneas de cultivo pareadas, distantes entre sí 0,80 metros y dejar pasillos de 1,2 metros entre cada par de líneas con objeto de favorecer la realización de las labores culturales, evitando daños indeseables al cultivo.

En cultivo bajo invernadero la densidad de plantación suele ser de 20.000 a 25.000 plantas/ha. Al aire libre se suele llegar hasta las 60.000 plantas/ha.

Poda de formación

Es una práctica cultural frecuente y útil que mejora las condiciones de cultivo en invernadero y como consecuencia la obtención de producciones de una mayor calidad comercial. Con la poda se obtienen plantas equilibradas, vigorosas y aireadas, para que los frutos no queden ocultos entre el follaje, a la vez que protegidos por él de insolaciones. Se delimita el número de tallos con los que se desarrollará la planta (normalmente 2 ó 3). En los casos necesarios se realizará una limpieza de las hojas y brotes que se desarrollen bajo la “cruz”. La poda de

formación es más necesaria para variedades tempranas de pimiento, que producen más tallos que las tardías.

Aporcado

Práctica que consiste en cubrir con tierra o arena parte del tronco de la planta para reforzar su base y favorecer el desarrollo radicular. En terrenos enarenados debe retrasarse el mayor tiempo posible para evitar el riesgo de quemaduras por sobrecalentamiento de la arena.

Entutorado

Es una práctica imprescindible para mantener la planta erguida, ya que los tallos del pimiento se parten con mucha facilidad. Las plantas en invernadero son más tiernas y alcanzan una mayor altura, por ello se emplean tutores que faciliten las labores de cultivo y aumente la ventilación. Pueden considerarse dos modalidades de entutorado:

Entutorado tradicional: consiste en colocar hilos de polipropileno (rafia) o palos en los extremos de las líneas de cultivo de forma vertical, que se unen entre si mediante hilos horizontales pareados dispuestos a distintas alturas, que sujetan a las plantas entre ellos. Estos hilos se apoyan en otros verticales que a su vez están atados al emparrillado a una distancia de 1,5 a 2 m, y que son los que realmente mantienen la planta en posición vertical.

Entutorado holandés: cada uno de los tallos dejados a partir de la poda de formación se sujeta al emparrillado con un hilo vertical que se va liando a la planta conforme va creciendo. Esta variante requiere una mayor inversión en mano de obra con respecto al tutorado tradicional, pero supone una mejora de la aireación general de la planta y favorece el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales (destallados, recolección, etc.), lo que repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades.

Destallado

A lo largo del ciclo de cultivo se irán eliminando los tallos interiores para favorecer el desarrollo de los tallos seleccionados en la poda de formación, así como el paso de la luz y la ventilación de la planta. Esta poda no debe ser demasiado severa para evitar en lo posible paradas vegetativas y quemaduras en los frutos que quedan expuestos directamente a la luz solar, sobre todo en épocas de fuerte insolación.

Deshojado

Es recomendable tanto en las hojas senescentes, con objeto de facilitar la aireación y mejorar el color de los frutos, como en hojas enfermas, que deben sacarse inmediatamente del invernadero, eliminando así la fuente de inóculo.

Aclareo de frutos

Normalmente es recomendable eliminar el fruto que se forma en la primera “cruz” con el fin de obtener frutos de mayor calibre, uniformidad y precocidad, así como mayores rendimientos.

En plantas con escaso vigor o endurecidas por el frío, una elevada salinidad o condiciones ambientales desfavorables en general, se producen frutos muy pequeños y de mala calidad que deben ser eliminados mediante aclareo.

Nutrición

La fertilización es, después del riego, el principal factor limitante de la producción hortícola, y tiene como objetivo fundamental la restitución al medio de cultivo de las cantidades de nutrientes absorbidas por las plantas. El período de mayores necesidades de N, P y K se extiende desde aproximadamente diez días después de la floración hasta justo antes de que el fruto comience a madurar. Las concentraciones de N, P y K son mayores en la hoja, seguidas del fruto y del tallo. El

orden de éstos dos últimos se invierte en los contenidos de Ca y Mg. En la tabla tres se indican los niveles foliares normales en la planta adulta.

Tabla 1.2. Niveles foliares de referencia para cultivo del pimiento (%sms)

N	P	K	Ca	Mg
3,0-5,0	0,3-0,8	3,5-5,5	1,5-4,0	0,8-1,7

Fuente: Alarcón 2002

Los programas de fertirrigación, donde el agua de riego y los fertilizantes se aportan conjuntamente, deben intentar restituir las cantidades extraídas por el cultivo en cada estado de su desarrollo. Los valores de la tabla tres se pueden considerar como orientativos de cultivo en invernadero con rendimientos similares.

Riego

El cultivo del pimiento se considera entre sensible y muy sensible al estrés hídrico, tanto por exceso como por defecto de humedad. Junto con el abonado nitrogenado, el riego es el factor que más condiciona el crecimiento, desarrollo y productividad de este cultivo. Un aporte de agua irregular, en exceso o en defecto, puede provocar la caída de flores y frutos recién cuajados y la aparición de necrosis apical, siendo aconsejables los riegos poco copiosos y frecuentes. La mayor sensibilidad al estrés hídrico tiene lugar en las fases de floración y cuajado de los primeros frutos, siendo el período de crecimiento vegetativo el menos sensible a la escasez de agua. El déficit hídrico ocasiona un descenso en la producción en cantidad y calidad al reducirse al número de frutos y/o su peso unitario, incrementándose la proporción de frutos no comerciales y, en frutos destinados a la industria, disminuyendo el pH y aumentando el contenido en sólidos totales y solubles.

El pimiento es un cultivo que en años de climatología más suave (veranos no muy calurosos y secos), se adapta bien al riego deficitario diario por goteo, siendo aconsejable en este caso dar riegos con dotaciones en torno al 80-90%. Con climatología extrema el asesoramiento es interesante a fin de no aplicar riegos deficitarios, ya que en este caso se produce una importante merma de la producción

comercial y un considerable aumento del destrío, fundamentalmente por frutos afectados por necrosis apical.

1.3. Descripción de los sistemas de cultivo

1.3.1. Producción Integrada

1.3.1.1. Antecedentes, definición y objetivos de la Producción Integrada

Los orígenes del concepto de Producción Integrada (PI) se remontan a 1977, como fruto de la reunión en Ovronnaz (Suiza) de un grupo de investigadores, y surge como una fase más avanzada de la Protección Integrada que tuvo su origen simultáneamente en Europa y California en la década de los 50. Este nuevo concepto incorpora al de Protección Integrada el de manejo racional de los restantes componentes del agroecosistema (planta, clima, agua-suelo, etc.), pretendiendo optimizar la calidad extrínseca (aspecto exterior del producto) e intrínseca (características organolépticas, contenido vitamínico, residuos, etc.) de la cosecha.

Con la identificación de estos productos mediante el distintivo correspondiente, el consumidor puede diferenciar adecuadamente unos productos de otros que no estén acogidos a este sistema. Este factor es destacable, puesto que se trata de productos considerados de alta calidad garantizada mediante un control externo por organismos acreditados. Además, los productos obtenidos están sometidos al sistema de trazabilidad, por lo que es posible hacer un seguimiento desde su origen hasta la comercialización directa al consumidor.

La PI, a diferencia de lo que ocurre con la producción ecológica, permite la utilización de productos agroquímicos de síntesis, como fertilizantes, pesticidas y otros, aunque su utilización queda restringida a la autorización previa de éstos, y a la

aplicación correspondiente en cuanto a dosis que establezcan las normas técnicas del cultivo de que se trate.

La OILB (Organización Internacional de Control Biológico e Integrado) define la PI como “un sistema de explotación agraria que produce alimentos y otros productos de alta calidad mediante el uso de recursos naturales y mecanismos reguladores, que reemplacen los insumos contaminantes y que aseguren una producción agraria sostenible”

Así, los objetivos que se persiguen son los siguientes:

- Conservación de recursos (edafológicos, hidráulicos, genéticos, etc.
- Uso racional de insumos (energéticos, fitosanitarios, fertilizantes, etc.).
- Gestión adecuada de residuos, tanto sólidos como líquidos.
- Conservación y mejora del medio (paisaje, ecosistemas, seguridad e higiene de la población rural, etc.).

1.3.1.2. Principios de la Producción Integrada

Para conseguir los objetivos anteriormente citados la PI se basa en los siguientes principios:

I. La PI se aplica de forma holística, es decir, no es una mera combinación del control integrado de plagas y elementos adicionales como fertilización o medidas agronómicas, sino que va más allá, basándose en la regulación del ecosistema y en conservación de los recursos naturales.

II. Se minimizan los impactos indeseables y los costes externos sobre la sociedad (contaminaciones de aguas por nitratos, residuos de plaguicidas, etc.).

III. La unidad de puesta en practica de la PI es toda la explotación agraria, pues por su enfoque holístico sólo tiene sentido si se aplica en toda la explotación y no sólo en partes individuales.

IV. Los conocimientos sobre PI de los agricultores y ganaderos deben ser puestos al día periódicamente, requiriendo una captación profesional inicial y luego una formación periódica.

V. Deben mantenerse agroecosistemas estables como componente estable de la PI, es decir, deben alternarse el mínimo posible los recursos naturales por actividades de la explotación agraria.

VI. Los ciclos de nutrientes deben ser equilibrados y las pérdidas minimizadas.

VII. La fertilidad intrínseca del suelo debe ser conservada y aumentada. La fertilidad depende de sus características físicas, químicas y también biológicas, siendo la fauna del suelo uno de sus indicadores de fertilidad.

VIII. El manejo integrado de plagas, patógenos y malas hierbas (IPM) es la base de la toma de decisiones en la protección de cultivos. Se debe poner especial énfasis en las medidas preventivas (protección indirecta) que deben ser utilizadas en toda su extensión antes de la aplicación de medidas directas de protección de plantas (= control). Las decisiones sobre la necesidad de aplicar medidas de control (eliminación de la parte de la población de plaga que causa daño económico) deben basarse en las técnicas más avanzadas como métodos de previsión y umbrales científicamente verificados. Las medidas de protección directa serán sólo el último recurso si no pueden evitarse pérdidas económicamente inaceptables por la protección indirecta del cultivo.

IX. La diversidad biológica debe mantenerse y reforzarse, incluyendo la diversidad, a nivel genético, de especies y ecosistemas. En general, el reemplazamiento de plaguicidas químicos por factores de regulación natural no puede conseguirse adecuadamente sin una diversidad biológica adecuada.

X. La calidad de la producción debe ser evaluada mediante parámetros ecológicos del sistema de producción, además de mediante parámetros de calidad interna y externa. Los requisitos del sistema de producción deben extenderse a las operaciones de almacenamiento, procesado y manejo de productos.

Esta definición de PI, sus objetivos y principios fueron aprobados por un panel “ad hoc” de expertos de la OILB/SROP el 6 de Marzo de 1992 y ratificada y puesta en vigor por el Comité Ejecutivo de la OILB/SROP el 16 de Mayo de 1992. Han sido validados y reafirmados en la publicación de la OILB/SROP (Boller y col.,, 1999).

1.3.1.3. La Producción Integrada en España

La Administración ha desarrollado un instrumento en apoyo a la comercialización de productos que satisfagan la demanda marcada por los mercados más exigentes, que cuenta ya con un significativo reconocimiento por parte de los grandes importadores en el marco de la UE; se trata de la marca de garantía conocida como PI.

Son ya casi 50.000 hectáreas las que contemplan este sistema de producción a nivel nacional, con seis comunidades autónomas al frente (Andalucía, Aragón, Baleares, Cataluña, Murcia y Valencia) y una legislación adaptada a las necesidades culturales de cada una de ellas. Dicha legislación está regulada a través de los Decretos y las Ordenes correspondientes, que establecen un Reglamento Genérico autonómico y tantos Reglamentos Específicos como cultivos sobresalientes en el área en cuestión, y ha sido impulsada y desarrollada principalmente por los propios empresarios del sector cuando han vislumbrado con dicho sistema una salida para sus productos.

1.3.1.4. La Producción Integrada en La Región de Murcia

Al igual que la Comunidad Valenciana, Andalucía y Navarra, Murcia tiene un sistema de organización y funcionamiento establecido sobre una única

autoridad competente, la Administración, a través de la Consejería de Agricultura y Pesca. El sistema de control lo realizan 22 empresas privadas, reconocidas por la propia Administración que realiza la certificación final.

En esta comunidad, la participación en el programa PI, se exige a los productores la pertenencia a una Agrupación de Tratamiento Integrada (ATRIA) con una antigüedad mínima de 1 año, o la acreditación de tener una experiencia similar durante un año y disponer del asesoramiento de un técnico competente en PI.

Murcia tiene publicadas 13 normas o reglamentos de producción que se distribuye en cultivos al aire libre o bajo abrigo. Por la que se regulan las normas técnicas de PI en el cultivo de pimiento de invernadero.

1.3.1.4.1. Normas técnicas de Producción Integrada en pimiento en invernadero

Para llevar a cabo la producción de pimiento bajo invernadero la Región de Murcia establece las siguientes normas de carácter obligatorio o prohibitivo:

Recuperación y mantenimiento de la fertilidad de los suelos y el equilibrio natural

Obligatorias

Se permite el monocultivo, pero deben establecerse planes que garanticen el mantenimiento de la fertilidad de los suelos y minimicen los problemas patológicos y nutricionales inherentes a esta práctica. En este sentido se establecerá un periodo mínimo de dos meses al año durante el que se establecerán cubiertas vegetales “mejorantes” (gramíneas o leguminosas), se apliquen técnicas de solarización o biofumigación o bien se mantenga el terreno en barbecho libre se residuos vivos del cultivo anterior.

Prohibidas

Se prohíbe la realización de cultivos sin suelo salvo que dispongan de sistemas recirculantes o cerrados con reutilización del drenaje. Además los sustratos deberán ser adecuadamente retirados.

Preparación del suelo

Obligatorias

Mantener el invernadero limpio de restos de plantaciones anteriores de solanáceas y de hierbas que pudieran ser hospedantes de plagas o enfermedades importantes del cultivo, al menos durante las seis semanas precedentes a la plantación.

Las cubiertas de invernaderos han de estar en buenas condiciones y con bandas de ventilación lateral protegidas por mallas de densidad mínima de 6x9 hilos/cm² y zonas de ventilación cenital protegidas con mallas de 4x6 hilos/cm²

Análisis físico-químico del suelo, mínimo cada tres años con mantenimiento de los niveles de P-K medios –altos.

Desfonde y aplicación de estiércol a razón de 4-10 kg/m² año, hasta alcanzar un nivel mínimo del 2% de materia orgánica en los primeros 25 cm. del perfil.

Realizar las labores con los medios necesarios y en las condiciones adecuadas para respetar al máximo estructura del suelo.

Plantación

Obligatorias

Uso de material vegetal procedente de productores oficialmente autorizados con Pasaporte Fitosanitario y adecuado a las condiciones locales.

Riegos y Fertilización

Obligatorias

Han de emplearse sistemas de alta eficiencia así como un uso de materiales de calidad, según normas UNE. Es imprescindible la prevención de encharcamientos y escorrentías y la dosificación del agua según las necesidades reales del cultivo.

Distribución de nutrientes principales por hectárea, incluido materia orgánica de acuerdo con la extracción del cultivo, se fijan para una producción prevista de 10-12 kg/m²cm: N: 4 UF/ tm P₂O₅: 1,2UF/ tm K₂O: 6,6 UF/ tm Ca: 3,2 UF/ tm Mg: 1,2 UF/ tm.

En lo referente al cultivo en sustratos, el ajuste de la proliferación se realizará en función del balance entre la solución nutritiva de entrada y la de drenaje o la solución nutritiva de del sustrato, eligiendo una u otra según las características físico-químicas del sustrato, contemplando además la fase fenológica del cultivo y la actividad de absorción de los nutrientes por la planta. La periodicidad analítica debe ser como mínimo mensual.

Labores culturales

Obligatorias

Entutorado

Control de herbicidas

Obligatorias

Se realiza preferentemente por métodos mecánicos y manuales. En el caso de acolchados, retirada de plásticos para reciclado o vertido controlado al terminar el cultivo, salvo materiales rápidamente degradables.

Reducir la entrada de órganos de reproducción de malas hierbas en todo momento (cultivo y barbecho).

Prohibidas

Acolchado plástico que cubre más del 50% de la superficie del suelo.

Trips

Obligatorias

Colocación de 3-5 placas adhesivas azules por invernadero para la detección de sus poblaciones. Si se detectan niveles de trips, control preferentemente mediante auxiliares (*Orius*, *Amblyseius*, etc.)

Moscas blancas

Obligatorias

Es necesaria la colocación de placas adhesivas amarillas para su detección y favorecer la instalación de enemigos naturales. Cuando el problema se localiza en una banda, el tratamiento deberá estar localizado en esa banda.

Pulgones

Obligatorias

Si el nivel de auxiliares es bajo, se harán tratamientos localizados sobre los primeros focos. Si la presencia es generalizada, introducción puntual de auxiliares.

Noctuidos y pirálidos

Obligatorias

El cerramiento de los invernaderos debe ser suficiente para limitar el problema de las larvas de noctuidos. Hay que mantener, al menos un palillero por explotación, para cada una de las especies de interés de la zona.

Araña roja

Obligatorias

Control de hierbas en los bordes interiores y exteriores de los invernaderos. Favorecer la instalación de los enemigos naturales desde el inicio del cultivo.

Enfermedades fúngicas y bacterianas

Obligatorias

Buen manejo de la ventilación del invernadero, los riegos y el abonado para reducir la incidencia.

Eliminación de los órganos afectados y hojas inferiores cuando sea posible.

Prohibidas

Repetir más de dos veces consecutivas con una misma materia activa (a excepción del azufre)

Virosis

Obligatorias

Eliminación periódica de plantas con síntomas de virosis (máximo cada 15 días). Si se detecta presencia de vectores, esta eliminación se realizará después de

un tratamiento eficaz contra los mismos. Cuando se detectan virosis transmitidas de forma mecánica, se extremarán las precauciones en la manipulación de las plantas en las labores culturales.

Productos fitosanitarios, maquinaria y aplicación

Obligatorias

Los productos y dosis a emplear estarán expresamente utilizadas en el cultivo, respetando las dosis, condiciones de aplicación y plazos de seguridad.

La maquinaria a utilizar estaría en perfecto estado de uso y equilibrado y será comprobada por el técnico responsable de la explotación, al menos una vez al inicio de cada campaña, quedando reflejada esa comprobación en el cuaderno de campo para conseguir una perfecta distribución de los productos sin sobre dosificación y especialmente dirigidos a las zonas de máxima incidencia del problema a tratar.

Prohibidas

Se prohíben los calendarios de tratamientos y las aplicaciones indiscriminadas sin prescripción técnica.

Cultivo finalizados

Obligatorias

Una vez finalizada la recolección se procederá al arranque y eliminación inmediata de todos los restos del cultivo salvo que la presencia de auxiliares aconseje lo contrario, los restos de cosechas y los propios cultivos serán gestionados con arreglo a las directrices medioambientales.

Prohibidas

El abonado fitosanitario de las plantaciones hacia el final de la campaña.

Libro de explotación

Obligatorias

El libro de explotación o cuaderno de campo será una reseña precisa de todas las labores e incidencias del cultivo y su inspección podrá ser realizada por los organismos competentes, en cualquier momento.

La puesta al día del libro de explotación se realizará periódicamente por parte del técnico de la explotación que asesora al agricultor, el cual deberá facilitar al técnico información veraz sobre tales extremos.

Al libro de explotación deberá adjuntarse la documentación que justifique y acredite las diferentes operaciones del cultivo (hojas de recomendación de tratamientos, análisis, facturas de abonos y otros productos, etc...)

Contaminación de origen agrario: envases

Obligatorias

Se habrán de adoptar las medidas de prevención necesarias para asegurar que los envases conteniendo productos fitosanitarios y fertilizantes, quedan fuera del alcance de personas no autorizadas. Una vez utilizados estos envases, deberán ser retirados de la parcela y almacenados de forma adecuada hasta su entrega a un gestor autorizado.

Prohibidas

Depositar los envases vacíos en zonas de acceso libre que permitan su reutilización para otros fines por personas no autorizadas.

Destruir por medio del fuego u otro procedimiento en la parcela o alrededores, los envases vacíos anteriormente citados, así como enterrar los envases en cualquier ubicación que no está autorizada.

Contaminación de origen agrario: restos de las estructuras de cobertura

Obligatorias

Retirar de la parcela los restos de plástico, malla o cualquier otro material utilizado en las estructuras del cultivo acolchado y cobertura o cualquier otro proceso de cultivo.

Almacenamiento de forma adecuada de los residuos hasta la entrega a un gestor autorizado.

Prohibidas

Utilizar plásticos o mallas de las estructuras de cultivo una vez retiradas, para otros usos.

Destruir por el fuego, triturar o enterrar los residuos citados, excepto que e haga en puntos autorizados.

Contaminación medioambiental, contaminación de acuíferos, redes de riego

Obligatorias

Adoptar las medidas precisas para evitar que la deriva de las aplicaciones realizadas alcance a parcelas distintas de las que se pretende tratar, sean o no del mismo propietario. Realizar planes de abonado que eviten los aportes excesivos de nutrientes que no vayan a ser utilizados por la planta y puedan provocar contaminaciones de acuíferos. Respetar las limitaciones establecidas por las normas legales de la Comunidad Autónoma de Murcia para los aportes de Nitrógeno.

Disponer en la explotación de zonas preparadas expresamente para llenar cubas, lavar equipos, depositar restos de caldos no utilizados, etc.

Prohibidas

Depositar en cauces o embalses de aguas los restos de caldo de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios o lavar estos en tales zonas.

Aplicar productos fitosanitarios con condiciones climatológicas que favorezcan la deriva de los productos aplicados fuera de la parcela a tratar (viento superior a 5km/h).

1.3.1.5. Perspectivas de futuro

En los próximos años, la PI posiblemente será uno de los sistemas de producción que presentará un crecimiento más elevado. La preocupación de la distribución, del consumidor y de las administraciones públicas por conseguir productos de calidad que aporten garantías sobre su seguridad o que se obtengan con procesos respetuosos con la naturaleza, será la componente clave de la demanda en el futuro, que a corto plazo producirá un importante cambio de los sistemas productivos.

Por último cabe decir, que para que la PI tenga asegurada un futuro viable, a escala europea, es fundamental que se articule sobre la base de un modelo productivo que tienda a su vez a una unificación de directrices u normas, entre los diferentes países y estados. El objetivo final de todos los esfuerzos que se hagan en este sentido, no es otro que el de conseguir que este sistema de producción, en un futuro relativamente próximo, pueda establecerse sobre la base de un Reglamento Comunitario, al igual que sucede con la AE. Si finalmente llega a producirse este efecto, sin lugar a dudas el futuro de la PI estará asegurado.

1.3.2. Cultivo sin suelo

1.3.2.1. Concepto del cultivo sin suelo

El término hidroponía procede de las palabras griegas hydros (agua) y ponos (cultivo). El diccionario de la real academia de la lengua española lo define como:

cultivo de plantas en soluciones acuosas, por lo general con algún soporte inerte. Las hortalizas más susceptibles de ser cultivadas en hidropónico son: tomate, pepino, melón pimiento, judía berenjena, sandía calabacín y flores cortadas (Checa, 2001).

Los cultivos hidropónicos presentan varias ventajas que los hacen más competitivos como:

- mayor eficacia en el uso de agua y fertilizantes.
- Reducción de labores culturales.
- Producción intensiva sin necesidad de establecer rotaciones de cultivos.
- Menor y más fácil esterilización del medio de cultivo.
- Utilización más efectiva de los sistemas de calefacción.
- Una mayor precocidad.
- La obtención de una mayor productividad.
- Calidad de la cosecha y una reducción de la cantidad de destrío.
- Homogeneidad de cultivo.

Los métodos de cultivo sin suelo pueden clasificarse según dos categorías en:

- **Hidropónicos verdaderos.** Donde la solución nutritiva es recirculada después de una reaireación y nuevo ajuste de pH y de los niveles de nutrientes, directamente a la planta sin otro sustrato, como por ejemplo el sistema NFT.
- **Sobre sustratos.** Son aquellos en los que la solución nutritiva se suministra por fertirrigación al medio o sustrato.(Olympios, 1993)

1.3.2.2. Sustratos

Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta.

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc.

Sustratos químicamente inertes. Arena granítica o silícea, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca, etc.

Sustratos químicamente activos. Turbas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, materiales ligno-celulósicos, etc.

Las diferencias entre ambos vienen determinadas por la capacidad de intercambio catiónico o la capacidad de almacenamiento de nutrientes por parte del sustrato. Los sustratos químicamente inertes actúan como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes, por lo que han de ser suministrados mediante la solución fertilizante. Los sustratos químicamente activos sirven de soporte a la planta pero a su vez actúan como depósito de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización, almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal. A su vez los materiales orgánicos pueden ser, de origen natural que se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (turbas), o de síntesis que son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, poliestireno expandido, etc.).

Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas. La mayoría de los materiales de este grupo deben experimentar un proceso

de compostaje, para su adecuación como sustratos (cascarillas de arroz, pajas de cereales, fibra de coco, orujo de uva, cortezas de árboles, serrín y virutas de la madera, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, etc.).

A su vez los materiales inorgánicos o minerales pueden ser de origen natural, los cuales se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, modificándose muchas veces de modo ligero, mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arena, grava, tierra volcánica, etc.). Si se trata de materiales transformados o tratados, se realizan a partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos, más o menos complejos, que modifican notablemente las características de los materiales de partida (perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida, etc.). También pueden ser residuos y subproductos industriales, Comprendiendo los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles del carbón, etc.).

Un buen sustrato se caracteriza por tener una elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, suficiente suministro de aire, baja densidad aparente y elevada porosidad, (su valor óptimo no debería ser inferior al 80-85 %, aunque sustratos de menor porosidad pueden ser usados ventajosamente en determinadas condiciones), estructura estable, que impida la contracción (o hinchazón del medio) y baja capacidad de intercambio catiónico, dependiendo de que la fertirrigación se aplique permanentemente o de modo intermitente, respectivamente. También son características importantes en un sustrato un nivel suficiente de nutrientes asimilables, baja salinidad, elevada capacidad tampón y capacidad para mantener constante el pH, así como mínima velocidad de descomposición.

1.3.2.3. El agua de riego en hidropónico

Hay que tener presente la composición química del agua de riego. El contenido salino total evaluado indirectamente mediante la medida de CE, resulta determinante de cara a establecer los porcentajes de lixiviado y para elegir en su caso la especie y/o variedad a implantar, manejar la dosis y establecer la frecuencia de

riegos, etc. A menor valor de CE menor grado de restricción tendrá el agua de riego para su uso y manejo.

A menudo se entiende el manejo de la disolución nutritiva como el cálculo, preparación y reajuste del aporte de los diferentes nutrientes. De esta forma en función de la calidad del agua, las propiedades físicas del sustrato y el estado fenológico del cultivo, se deben ajustar la dosis de riego, la frecuencia del mismo y el porcentaje de drenaje a conseguir. Interesa en general que sea cual sea el sustrato empleado, mantener una tensión en el mismo de 1 a 5 Kpa, asegurando una correcta oxigenación (Alarcón, 2002).

La elección de una u otra técnica de riego depende de numerosos factores como las propiedades físicas del sustrato, los elementos de control disponibles, las características de la explotación, etc. Resulta claro que un agua de buena calidad permite trabajar con porcentajes de drenaje bajos (15-20%) y que conforme crece el contenido de iones fitotóxicos es preciso aumentar este porcentaje para efectuar una adecuada lixiviación. Sustratos con buen drenaje, es decir, con porcentajes elevados de agua fácilmente disponible y buena capacidad de aireación (perlita, lana de roca) pueden manejarse con numerosas dosis de riego pequeñas y de volumen fijo (correspondientes al 5-10% del volumen de agua útil del sustrato).

En sustratos con elevados porcentajes de agua difícilmente asimilable y con tendencia a un déficit de oxígeno en el entorno radical (fibra de coco de granulometría fina, turbas, mezcla de sustratos orgánicos) puede ser preferible la aplicación de riegos largos de lavado (cada dos días o uno o dos diarios en función del cultivo, la salinidad y las condiciones climáticas) y riegos intermedios de apoyo al suministro hídrico, en los que no es posible obtener el drenaje. Con esto conseguimos períodos de mayor aireación de la raíz (Alarcón, 2002).

El pimiento es una de las hortalizas más exigente respecto al drenaje y aireación del sustrato ya que es una especie particularmente sensible a la asfixia radical. Por lo tanto es muy importante mantener la aireación para asegurar un nivel óptimo en la disponibilidad de oxígeno, que puede variar entre 7,43 y 8,80 mg L⁻¹,

según la hora del día (Urrestarazu y col., 2005). Para mantener una cantidad adecuada de oxígeno disuelto se debe evitar los encharcamientos y procurar controlar al máximo los suministros de agua, manteniendo la uniformidad en la humedad del sustrato durante todo su desarrollo vegetativo.

El sistema de riego más extendido, riego por goteo, permite la utilización de aguas de mala calidad que serían inutilizables bajo otros sistemas de riego como aspersión o inundación. Ahora bien, la frecuente presencia de elementos tóxicos para las plantas como sodio, cloruros o boro, en cantidades demasiado altas, nos condicionan el tipo de cultivo y el manejo del mismo en cuanto a nutrición, riego y volumen de drenaje.

1.3.2.4. Fertilización

La formulación de la disolución ideal no existe, puesto que hay muchos factores que condicionan las necesidades nutritivas. Cada explotación requiere un seguimiento específico para aplicar la mezcla ajustada.

Partir de una solución nutritiva adaptada a la especie (Tabla 1.3) , variedad, sustrato, agua de riego, condiciones climáticas prevalecientes y sistema de cultivo es lo más conveniente, y posteriormente será la reacción del propio cultivo la que vaya orientando sobre como ir reajustando la composición de la disolución nutritiva en base a:

- Controles diarios: pH, CE en solución nutritiva, drenaje y/o sustrato.
- Análisis químicos periódicos de la solución aportada, drenaje y solución de sustrato.
- Sintomatología de la plantación.
- Condiciones climáticas predominantes
- Estado fenológico del cultivo.
- Intereses comerciales que lleven a forzar o retener el cultivo según mercado.

Tabla 1.3. Niveles de nutrientes en solución nutritiva recomendada para un cultivo de pimiento en cultivo sin suelo.

mmol/L										
	CE	pH	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁺	SO ₄ ⁻ ₂	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Referencia
Dulce	2	5,5	14	1,7	2	0-0,5	5	5	2,5	Alarcón, 1996
California	1- 1,8	5,5	10- 14	1,5-1,8			4- 4,5	4- 4,5	1,5-2	Agrotécno (2002)
Lamuyo	1- 1,8	5,5	10- 14 19 15,24	1,5-1,8 1,25 1,25	3,5 1,75		4,5- 5 7 7,5	4- 4,5 7 4,25	1,5-2 3,25 1,50	Agrotécno (2002) R. Holandesas(2002) Agrotécno (2002)
Pimiento	2	5,5	14 15	1,7 2	2 2,5	0-0,5	6,5 9	5 5	2,5 1,5	Delgado (1999) Segura y Cadahia (2000)
Pimiento Lana de roca	2,2		15,5	1,25	1,75	1,25	6,5	4,75	1,5	Sonneveld y Straver (1994)
Recirculación	1,7		12,75	1,25	1	1,25	5,75	3,25	1,125	Sonneveld y Straver (1994)
Pimiento perlita			13,5	1,5	1,35		5,5	4,5	1,5	Sonneveld y Straver (1994)

Fuente: Urrestarazu M., *Tratado de cultivo sin suelo*.

Uno de los aspectos más importantes a la hora de abordar la nutrición vegetal, son las interacciones iónicas, que ocurren cuando el suministro de un nutriente afecta a la absorción, distribución o función de algún otro. Son los conocidos antagonismos y sinergismos entre los diferentes elementos.

Otra cuestión a destacar es la temperatura. En general los aniones se absorben peor a bajas temperaturas. Por esta razón, con presencia de temperaturas bajas conviene reforzar el suministro de fosfatos, sulfatos, nitratos y magnesio, además de la utilización de soluciones nutritivas más concentradas en general, durante épocas de baja transpiración (Alarcón, 2002).

1.3.2.5. Control de plagas

El control de plagas en el cultivo sin suelo se rige por las mismas reglas que en la PI, incluidas en las Normas Técnicas de PI para pimiento bajo invernadero.

1.3.3. Cultivo ecológico

La Agricultura Ecológica (AE), se puede definir como un compendio de técnicas agrarias que excluye normalmente el uso, en la agricultura y ganadería, de productos químicos de síntesis como fertilizantes, plaguicidas, antibióticos, así como la manipulación genética, con el objetivo de preservar el medio ambiente, mantener o aumentar la fertilidad del suelo y proporcionar alimentos con todas sus propiedades naturales (MAPA, 2006).

Este tipo de agricultura favorece el empleo de recursos renovables y el reciclado en la medida en que restituye al suelo los nutrientes presentes en los productos residuales. Respeta los propios mecanismos de la naturaleza para el control de las plagas y enfermedades en los cultivos y la cría de animales.

1.3.3.1. Normativa

En el marco de las reformas de la PAC emprendidas a finales de los años ochenta, se obtuvo el reconocimiento del papel fundamental que podía desempeñar la AE en el cumplimiento de objetivos revisados tales como la reducción de excedentes, la promoción de los productos de calidad y la integración en la agricultura de las prácticas de preservación del medio ambiente. Por ello se han adoptado Reglamentos que garantizan la autenticidad de los métodos de producción agrícola ecológica y que se han ido desarrollando hasta formar un amplio marco regulador que abarca desde el cultivo y la cría de ganado ecológicos hasta el etiquetado, la transformación y la comercialización de los productos derivados de la AE. Dichos Reglamentos regulan asimismo las importaciones de productos ecológicos en la UE.

El primer Reglamento sobre producción agrícola ecológica [Reglamento (CEE) nº 2092/91] data de 1991 y, desde su entrada en vigor en 1992, son muchos los agricultores europeos que han optado por este método de producción. Los productores que deseen obtener un reconocimiento oficial de sus métodos de producción ecológica deben respetar un periodo de conversión de dos años, como mínimo, antes de la siembra, en el caso de los cultivos anuales y de tres años, en el

caso de los cultivos vivaces. Posteriormente, el Real Decreto 1852/1993 establece la nueva regulación de AE basada en el Reglamento (CEE) 2092/91 citado, al mismo tiempo que las Comunidades Autónomas empiezan a asumir las competencias de control de este sistema de producción.

Es de destacar asimismo la creación, por el Real Decreto 1852/93, de la Comisión Reguladora de AE, configurada como un órgano colegiado adscrito al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, para el asesoramiento en esta materia, constituye en realidad un foro de encuentro donde participan el sector, los consumidores y la Administración Central y de las Comunidades Autónomas, ejerciendo funciones de asesoramiento en todas aquellas materias que afectan a la AE.

El desarrollo normativo comunitario en cuanto a AE es continuo; en 1999 se aprobó el Reglamento (CE) 1804/99, que completa la norma de 1991 regulando la producción animal y en el año 2000 se creó un logotipo compuesto por los términos "Agricultura Ecológica - Sistema de Control CE" concebido para ser utilizado con carácter voluntario en el etiquetado de los productos ecológicos.

1.3.3.2. Control

El control abarca todas las fases del proceso de producción, incluido el almacenamiento, la transformación y el envasado. Una vez al año, como mínimo, se realizan inspecciones en las explotaciones, y también tienen lugar controles sin previo aviso. En caso de infracción a las normas, está prevista la aplicación de sanciones que incluyen, entre otras cosas, la supresión inmediata del derecho a alegar la condición de ecológico en relación con el producto de que se trate; dichas sanciones pueden endurecerse cuando el incumplimiento reviste mayor gravedad. Los productores agrarios están obligados a mantener un registro meticuloso de sus actividades y, en el caso de los ganaderos, llevar registros completos de sus sistemas de gestión del ganado.

1.3.3.3. Fertilización

La fertilidad y la actividad biológica del suelo en el **cultivo ecológico** deberán ser mantenidas o incrementadas, en primer lugar, mediante:

- a) El cultivo de leguminosas, abono verde o plantas de enraizamiento profundo, con arreglo a un programa de rotación plurianual adecuado.
- b) La incorporación de estiércol procedente de la producción ganadera ecológica.
- c) La incorporación de cualquier otro material orgánico, convertido en abono o no, procedente de explotaciones cuya producción se atenga a las normas del Reglamento sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios (Reglamento CEE N° 2092/91, del Consejo de 24 de junio de 1991).

Para la activación del compost podrán utilizarse preparados apropiados a base de vegetales o preparados a base de microorganismos, que no estén modificados genéticamente. También podrán utilizarse los llamados “preparados biodinámicos” a base de polvo de roca, estiércol de granja o vegetales.

Podrán utilizarse preparados apropiados a base de microorganismos, que no estén modificados genéticamente, para mejorar el estado general del suelo o la disponibilidad de nutrientes en el suelo en los cultivos.

Los productos utilizados con carácter excepcional para el abono y mejora de las propiedades del suelo son los siguientes:

- Estiércol, estiércol desecado y gallinaza deshidratada, mantillo de excrementos sólidos de animales (prohibida la procedencia de ganaderías intensivas), excrementos líquidos de animales (estiércol semilíquido, orina etc.).
- Turba, su utilización esta limitada a la horticultura

- Arcillas (perlita, vermiculita, etc.)
- Mantillo procedente de cultivos de setas
- Deyecciones de lombrices (humus de lombriz e insectos)
- Guano
- Mezcla de materias vegetales compostadas o fermentadas
- Productos o subproductos de origen animal mencionados a continuación: Harina de sangre, polvo de pezuña, polvo de cuerno, polvo de huesos, harina de pescado, harina de carne, harina de pluma, lana, aglomerados de pelos y piel, pelos, productos lácteos.
- Productos o subproductos orgánicos de origen vegetal para abono.
- Algas y productos de algas.
- Serrín y virutas de madera, mantillo de cortezas, cenizas de madera (madera no tratada químicamente después de la tala).
- Fosfato natural blando (contenido en cadmio inferior o igual a 90 mg/kg de P₂O₅).
- Fosfato aluminocálcico (contenido en cadmio inferior o igual a 90 mg/kg de P₂O₅. Utilización limitada a los suelos básicos pH>7,5).
- Escorias de defosforación.
- Sal potásica en bruto (por ejemplo kainita, silvinita, etc.).
- Vinaza y extractos de vinaza, excluidas las vinazas amoniacales.
- Carbonato cálcico, sulfato de magnesio y sulfato de calcio (solo de origen natural).

- Solución de cloruro de calcio.
- Cal industrial procedente de la producción de azúcar y sal.
- Azufre elemental.
- Oligoelementos.
- Cloruro de sodio (solamente sal de gema).
- Polvo de roca.

1.3.3.4. Control de plagas, enfermedades y malas hierbas

Las prácticas mediante las que se previenen o combaten las plagas, enfermedades y malas hierbas son:

- **La selección de las variedades y especies adecuadas.** Las variedades autóctonas suelen estar adaptadas a las plagas y enfermedades habituales en la zona.
- **Un adecuado programa de rotación**
- **Medios mecánicos de cultivo.** Contra las malas hierbas no hay ningún herbicida autorizado. Sólo se pueden combatir mediante medios mecánicos o mediante medios térmicos.
- **La protección de los enemigos naturales mediante medidas que los favorezcan.** Los enemigos naturales de las plagas pueden ser favorecidos mediante la plantación de setos o de cultivos asociados en los que se favorezca su cría. Otra forma de favorecerlos, la única posible en medios demasiado artificiales como invernaderos, es su cría (varias casas comerciales se dedican a esta actividad) y posterior suelta.
- **Quema de malas hierbas**

- **Insecticidas:** Azadiractina, gelatina, extracto de nicotina, aceites vegetales, piretrinas, preparados a base de *Quassia amara* y rotenona.
- **Fungicidas:** Lecitina, aceites vegetales.
- **Acaricidas:** Aceites vegetales.
- **Microorganismos:** *Bacillus thuringiensis*, Granulosis virus, etc
- **Sustancias que sólo se utilizarán en trampas y/o dispersores:** Las trampas y/o los dispersores deberán impedir la penetración de las sustancias en el medio ambiente así como el contacto de éstas con las plantas cultivadas. Así mismo las trampas deberán recogerse una vez que se hayan utilizado y se eliminarán de modo seguro. Las sustancias utilizadas son las siguientes: fosfato diamónico (atrayente), feromonas (atrayente), piretroides, (sólo deltametrina o lambdacihalotrina), únicamente contra *Batrocera oleae* y *Ceratitis capitata*.
- **Otras sustancias utilizadas tradicionalmente en AE:** Sal de potasio rica en ácidos grasos (jabón suave), alumbre potásico (kalinita), polisulfuro de cal (Polisulfuro de calcio), aceite de parafina, aceites minerales, aermanganato de potasio, arena de cuarzo, azufre (fungicida, acaricida y repelente).

1.3.3.5. Desarrollo y evolución de la Agricultura Ecológica en España

En los últimos años, estamos asistiendo a un desarrollo de la AE al que ha contribuido la creciente toma de conciencia por parte de los consumidores de las cuestiones relacionadas con la seguridad alimentaria y los problemas medioambientales. Aunque en 2000 sólo representaba el 3 % del total de la superficie agrícola útil (SAU) de la UE, la AE se ha convertido de hecho en uno de los sectores agrarios más dinámicos dentro de la Unión Europea. Entre 1993 y 1998, dicho sector creció anualmente alrededor de un 25 % y se estima que, desde 1998, su

crecimiento se ha cifrado en un 30 % anual. No obstante, en algunos Estados miembros, este crecimiento parece haberse estabilizado.

La AE debe concebirse como parte integrante de un sistema de producción agraria sostenible y como una alternativa viable a un enfoque más tradicional de la agricultura. Desde la entrada en vigor de la legislación comunitaria sobre AE en 1992, se cuentan por decenas de miles los productores que han optado por este sistema de producción, como consecuencia del mayor conocimiento por parte de los consumidores de los productos derivados del cultivo ecológico, y de una demanda creciente de los mismos.

En la actualidad, la Política Agrícola Común (PAC) cuenta entre sus objetivos fundamentales el logro de una agricultura y un medio ambiente sostenibles:

El desarrollo sostenible debe conciliar la producción alimentaria, la conservación de los recursos no renovables y la protección del entorno natural, de modo que puedan satisfacerse las necesidades de la población actual sin comprometer la capacidad de autoabastecimiento de las generaciones futuras'.

La AE en España comenzó en 1991 con apenas 4.235 ha de superficie cultivada y 396 agricultores, hasta llegar a alcanzar en 2003 un total de 725.254 ha repartidas entre 18.505 operadores. Durante estos últimos años las cantidades se han mantenido constantes pero la tendencia actual es que aumenten moderadamente (Figura 1.1.) al mismo tiempo que crece el grado de concienciación de la sociedad, en la cual se basa la demanda de productos ecológicos. La Figura 1.2. muestra la composición de los tipos de superficie en AE.

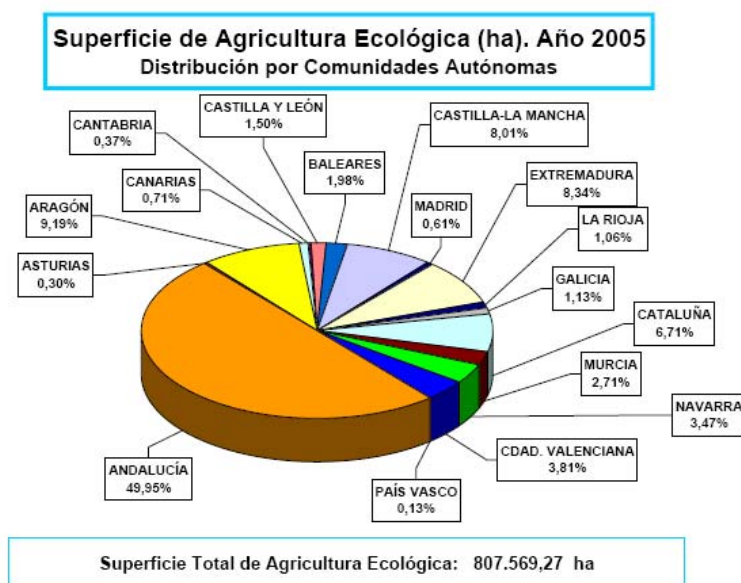


Figura 1.1. Superficie de Agricultura ecológica (ha) por Comunidades Autónomas.

Fuente: MAPYA 2005

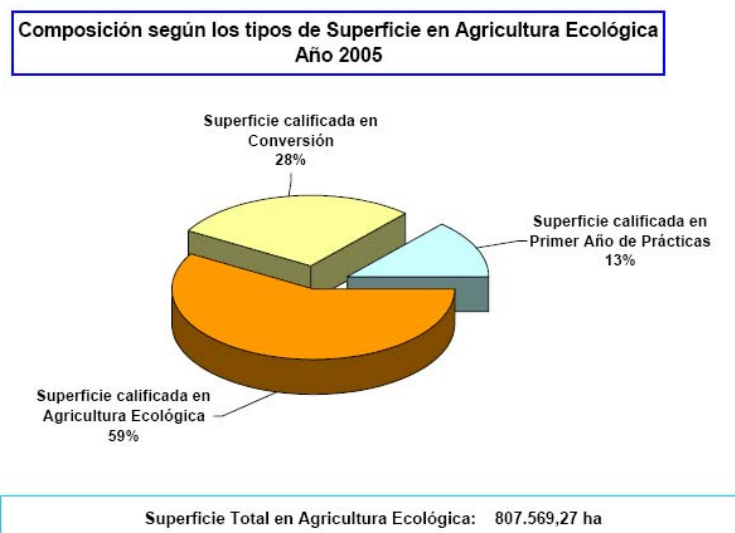


Figura 1.2. Composición de los tipos de Superficie en Agricultura Ecológica.

Fuente: MAPYA 2005.

1.4.-Aspectos Químicos y Fisiológicos del Fruto

1.4.1. Estructura anatómica del fruto

El fruto del pimiento botánicamente se define como una baya. Se trata de una estructura hueca, llena de aire, con forma de cápsula. La baya está constituida por un pericarpo grueso y jugoso y un tejido placentario al que se unen las semillas. El pericarpo está formado por tres capas: el epicarpo o capa externa, el mesocarpo o zona carnosa intermedia y el endocarpo o capa membranosa interna.

Esta estructura se reconoce ya en la pared del ovario antes de la antesis, formada por un conjunto de 8-10 capas de células poco diferenciadas. Poco después de la fertilización el número de capas pasa a 20-25 y se observa una estructura más compleja, produciéndose una intensa división celular en el epicarpo y endocarpo. Poco después la división finaliza y no se producen nuevas células durante el desarrollo y maduración del fruto, sino que ocurren procesos de crecimiento y diferenciación celular.

Cuando el fruto alcanza el envero o inicio de viraje de color, hacen su aparición los cromoplastos portadores de los pigmentos, primero en las células que rodean los vasos y poco después en las células del pericarpo. Los carotenoides de los frutos rojos se acumulan asociados a fibrillas de proteína y los amarillos a los glóbulos lipídicos (Fanh, 1982). En estas mismas células se acumulan sustancias aromáticas, grasas y otras sustancias.

El tejido placentario se desarrolla a lo largo de la sutura de los carpelos. Sobre su superficie se desarrollan los óvulos para dar lugar a las semillas. Algunas células epidérmicas, principalmente los séptos, se transforman en glandulares, secretando capsaicina, cuya formación se inicia a los pocos días del cuajado del fruto, si bien el mayor contenido se alcanza cuando el fruto vira de color.

1.4.2. Morfología

En el pimiento puede distinguirse una región capsular externa, correspondiente al pericarpo y un eje. El eje está formado por el pedúnculo rematado por el cáliz y su prolongación dentro del fruto, el corazón. Este está por debajo del tejido placentario y las semillas. En la región capsular externa se distinguen tres partes: base, cuerpo y ápice (Nuez y col., 1996).

La base del fruto forma un conjunto con el extremo del pedúnculo y los tejidos desarrollados a partir del receptáculo floral, pudiendo ser cóncava, convexa o plana. El cuerpo del fruto presenta una superficie suave, frecuentemente asurcada y con depresiones o rugosidad transversal. La sección longitudinal presenta gran variedad de formas, rectangulares, triangulares, circulares, espirales e irregulares. El ápice debe estar cerrado, aunque a veces no se cierra completamente, lo que favorece el desarrollo de podredumbres. Puede presentar forma apuntada, redondeada o hundida.

En los frutos inmaduros, se pueden observar considerables diferencias de color, desde pálidos (blanco-amarillento) hasta oscuros (verde oscuro amarillento, verde, verde azulado, verde-marrón). En el estado completamente maduro se distinguen dos grupos: amarillos y rojos. En ciertas variedades también se dan frutos de intenso color violeta marrón.

1.4.3. Cuajado

La proporción de cuajado depende del genotipo. Los tipos de fruto pequeño suelen cuajar mucho más que los de fruto grueso. Es éstos el porcentaje de cuajado puede ser muy bajo (Nuez y col., 1996). Para un cultivar dado, la carga fisiológica de la planta tiene un efecto negativo. La presencia de frutos en desarrollo disminuye el cuajado. Entre los factores exógenos la radiación solar incidente modifica este porcentaje. La reducción de la intensidad luminosa, por efecto latitudinal o por cultivo bajo mallas, reduce el cuajado. El factor externo más importante es la

temperatura: por encima de 30 °C el cuajado es muy escaso, aumentando a medida que la temperatura baja hasta un óptimo alrededor de 20 °C.

El cuajado de los frutos también tiene una estrecha relación con la acción hormonal. Las auxinas producidas en los meristemas apicales facilitan el cuajado y retardan la abscisión de los frutos.

1.4.4. Maduración

Durante la maduración del fruto se producen cambios cuantitativos en su composición, asociados a los cambios cualitativos del color, sabor, textura y olor. En la mayoría de variedades de fruto verde, disminuye la concentración de clorofilas y aumenta la de carotenoides (Nuez y col., 1996)

El sabor del fruto maduro integra un importante conjunto de procesos, la mayoría asociados a hidrólisis enzimáticas, produciéndose así la hidrólisis del almidón y de las pectinas, aumentando el sabor dulce. Ello va asociado a la desaparición del sabor astringente.

Los cambios en la textura van también asociados a procesos hidrolíticos. Al mismo tiempo se producen varios tipos de aldehidos, alcoholes, terpenos, aceites volátiles, etc. que confieren el sabor aroma característico de cada variedad.

Un factor que juega un papel decisivo es la temperatura, siendo por lo común necesario alcanzar entre 15 y 30 °C para una adecuada maduración. En el pimiento se han demostrado respuestas positivas de aceleración de la maduración a los tratamientos con etileno y también un incremento del etileno endógeno a partir del punto de viraje verde a rojo.

1.4.5. Actividad respiratoria

Tomando como base la respiración y el modo de producción de etileno durante la maduración, los frutos pueden ser clasificados como climatéricos o no climatéricos. Los frutos climatéricos muestran un amplio incremento en la

producción de CO₂ y de etileno durante la maduración. De acuerdo con lo anterior, el pimiento grueso puede ser considerado parcialmente climatérico, ya que el contenido de etileno se duplica cuando el fruto vira de verde a rojo. Sin embargo, los cambios climatéricos en el pimiento no son tan pronunciados como en otros miembros de las *solanáceas*, que se consideran climatéricos como el tomate (Nuez y col., 1996).

El proceso de respiración durante la postcosecha origina que los materiales orgánicos de reserva (hidratos de carbono, ácidos orgánicos, proteínas y lípidos) se transformen en productos finales sencillos, con liberación de energía. El O₂ es utilizado en este proceso y el CO₂ es producido por el fruto. El proceso respiratorio produce las siguientes consecuencias:

- La disponibilidad de energía se acelera y las sustancias de reserva que proporcionan energía se van agotando. La energía liberada en el proceso se utiliza para generar profundos cambios metabólicos.
- La calidad organoléptica del fruto se ve modificada.
- Se produce una pérdida de materia seca, y como consecuencia, una importante pérdida económica.

1.4.6. Producción de etileno

El etileno es un componente orgánico sencillo que tiene extraordinario influencia sobre los procesos fisiológicos de las plantas. El etileno está considerado como la hormona del envejecimiento natural y de la maduración, siendo fisiológicamente activo en mínimas cantidades (menos de 0,1 ppm). También juega un papel importante en la abscisión de los órganos de las plantas (Artés, 1976). El pimiento está considerado, según su nivel de producción de etileno, como de bajo nivel, variando a una temperatura de 20 °C entre 0,1 μL · kg⁻¹ · h⁻¹ (Kader, 1983).

Generalmente los niveles de de producción de etileno aumentan con la maduración, daños mecánicos sobre el fruto, incidencia de enfermedades, aumento de la temperatura hasta 30 °C y estrés hídrico. Por otra parte, los niveles de

producción de etileno en los productos hortícolas frescos, se reducen con un almacenamiento a bajas temperaturas y con niveles reducidos de O₂ (menos del 8%) y/o elevados de CO₂ (más del 2%) alrededor del producto.

1.4.7. Composición química y valor nutritivo

El fruto fresco de pimiento destaca por sus altos contenidos en vitaminas A y C y en calcio (Tabla 1.4.). Dependiendo de variedades puede tener diversos contenidos de capsainoides, alcaloides responsables del sabor picante y de pigmentos carotenoides.

Tabla 1.4. *Composición química y valor nutritivo de pimientos dulces y picantes por 100 g de producto comestible (Grubben, 1977)*

Composición	Pimiento dulce	Pimiento picante
Materia seca (%)	8.0	34.6
Energía (kcal)	26.0	116.0
Proteína (gr)	1.3	6.3
Fibra (gr)	1.4	15.0
Calcio (mg)	12.0	86.0
Hierro (mg)	0.9	3.6
Carotenos (mg)	1.8	6.6
Tiamina (mg)	0.07	0.37
Riboflavina (mg)	0.08	0.51
Niacina (mg)	0.8	2.5
Vitamina C (mg)	103.0	96.0
Valor nutritivo medio (ANV)	6.61	27.92
ANV por 100g de materia seca	82.6	80.7

Fuente: Nuez y col.,. (1996)

1.4.7.1. Vitaminas

El pimiento contiene vitamina A, C, B₁, B₂, y P. El contenido del pimiento en vitamina A es elevado, estimándose que con 3-4 g de pimiento rojo se cubren los

requerimientos diarios de vitamina A de una persona adulta. En el pimiento la vitamina A no se encuentra en formas directamente utilizables, sino que está en forma de provitaminas, las cuales son transformadas en vitamina A en el hígado de los humanos y de los animales. Estas provitaminas son el alfa y beta caroteno y la criptoxantina. De las tres, la más importante es el beta caroteno, porque se encuentra en mayor proporción y porque de cada molécula se obtienen dos de vitamina A, mientras que el alfa caroteno y la criptoxantina solo proporcionan una molécula de vitamina A por molécula de provitamina.

También destaca el pimiento por su alto contenido en vitamina C (entre 70-300 mg/100 g de peso fresco), aunque hay diferencias grandes entre variedades, ya que las variedades de color verde generalmente contienen más vitamina C que las de color amarillo. Por otro lado cabe resaltar que el contenido en vitamina C del pimiento se ve afectado por varios factores de tipo agronómico como son: cultivo realizado al aire libre o en invernadero, marco de plantación, riego, estado de madures del fruto, etc.

1.4.7.2. Capsaicina

La capsaicina es el principio picante del pimiento, encontrándose ausente de las variedades dulces. Es una sustancia de naturaleza alcaloide. Más concretamente se trata de un protoalcaloide, cuya fórmula empírica es $C_{18}H_{27}O_3N$, siendo un producto de condensación del ácido decilénico y de la 3-hidroxi-4metoxi benzilamida. En la actualidad se sabe que la capsaicina no es un compuesto simple, sino que se trata de una mezcla de varias amidas, que son comúnmente conocidas con el nombre de capsacinoides (figura 1.3), siendo la capsaicina el más importante entre ellas.

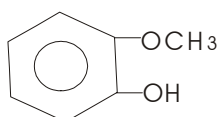


Figura 1.3. $R.NHCH_2$, Fórmula estructural de los capsacinoides

El contenido en capsaicina es mayor en la placenta y en el septo, en donde representa un 2,5% de la materia seca, mientras que el contenido medio del fruto es del 0,6 %, el de las semillas del 0,7% y el del pericarpio del 0,03%. El contenido en capsaicina depende de la variedad y de los cambios de los factores ambientales básicos. La formación de capsaicina es mayor a temperaturas elevadas (en torno a los 30 °C) que a temperaturas suaves (21-24 °C).

1.4.7.3. Pigmentos

Por su composición química, los pigmentos contenidos en el fruto de pimiento se incluyen dentro del grupo de los carotenoides. Los carotenoides son pigmentos amarillos, rojo-anaranjados o rojos, que pueden encontrarse en las hojas, junto con la clorofila, o en otras partes de la planta, tales como raíces, frutos, etc. Los carotenoides son mezclas de varias estructuras químicas.

Los pigmentos del fruto del pimiento se pueden dividir en tres grupos:

1. Pigmentos principales o característicos: capsantina ($C_{40}H_{58}O_3$) y capsorubina ($C_{40}H_{60}O_4$), que son los que dan el color rojo.
2. Pigmentos con efecto de provitamina: criptoxantina ($C_{40}H_{56}O$) y beta-caroteno ($C_{40}H_{56}$).
3. Otros pigmentos carotenoides: zeaxantina ($C_{40}H_{56}O$) y luteína ($C_{40}H_{56}O$).

El contenido en pigmentos depende de la variedad y de la fertilización aplicada. Con dosis mayores de 50 kg/ha de N el contenido en pigmentos decrece. Hay una correlación positiva entre el contenido en estos pigmentos y el de clorofila.

1.4.7.4. Carbohidratos

En el pimiento la mayor parte de los azúcares sencillos están representados por la glucosa (90-98%), el resto es sacarosa. La pectina también es un carbohidrato importante y está presente en una 3-7%.

1.4.7.5. Fibra

El contenido en fibra del pimiento es de aproximadamente 20-24% de la materia seca.

1.4.7.6. Otros componentes

Además de los componentes citados anteriormente, en el pimiento se encuentran aceites volátiles, lípidos, aminoácidos, proteínas (de alto valor biológico), ácidos orgánicos y sustancias minerales.

Otro aspecto a tener en cuenta es el contenido en agua. En el pimiento dulce, la proporción de agua varía de un 82-92%, mientras que en los pimientos picantes se encuentra en torno a un 70%. Esto es importante a la hora de comparar el valor nutritivo del pimiento dulce y del picante, ya que, por ejemplo, el valor nutritivo medio referido a peso fresco del pimiento dulce es de 6,61 y el del picante es de 27,92, mientras que si lo referimos a materia seca, es de 82,6 y 80,7 respectivamente.

1.5.-Efecto de los sistemas de cultivo sobre la calidad del fruto

Hoy en día existe una creciente demanda de productos agrícolas obtenidos mediante prácticas culturales alternativas, que limiten el uso de fertilizantes minerales solubles y pesticidas sintéticos, como consecuencia de la mayor preocupación del consumidor por su salud y el medio ambiente. De ahí surge la necesidad de investigación que permita obtener información del verdadero impacto sobre la salud, de los productos agrícolas de diferentes orígenes y los riesgos asociados a los mismos. Sin embargo no hay estudios concluyentes que demuestren que la producción ecológica aporte alimentos de mejor calidad general, si bien, sí está demostrado su menor contenido de contaminantes.

A pesar de la necesidad de investigación existente y los numerosos estudios publicados, no se ha encontrado en la revisión bibliográfica, ningún trabajo que estudie las posibles diferencias en frutos de pimiento en función del sistema de cultivo empleado.

Muchos estudios han comparado el efecto de los fertilizantes orgánicos y convencionales en la composición nutritiva de los productos vegetales, pero no han considerado el efecto del sistema de producción en su conjunto. Mientras que algunos estudios conducen a pensar que hay un mayor contenido de nutrientes en los productos vegetales cultivados de forma orgánica, otros señalan que este fenómeno puede deberse al mayor contenido de agua de los productos que proceden de la agricultura convencional, lo que provocaría una dilución de los nutrientes (Worthington, V., 1998).

Los productos agrícolas que provienen de cultivos orgánicos, como espinacas, remolacha, zanahoria, tomates y patatas tienen un contenido ligeramente inferior de proteína bruta y aminoácidos libres (Dlouhy, 1977; Pettersson, 1977; Lairon y col., 1984; Millard, 1986; Reinken, 1986), el mayor contenido de proteína bruta en los vegetales que provienen de la agricultura convencional, refleja, probablemente, la mayor disponibilidad de nitrógeno de los fertilizantes convencionales respecto a los orgánicos. Una mayor disponibilidad de nitrógeno incrementa por tanto, el contenido de proteína bruta de los vegetales, si bien, disminuye la calidad de la misma (Eppendorfer & Eggum, 1996). La PI es previsible que se sitúe en valores intermedios, si bien es factible la reducción del uso de nitratos solubles, por lo que se podrían situar en niveles similares a la ecológica.

Los estudios que se centran en la concentración de vitaminas, no han encontrado diferencias significativas en las concentraciones de vitamina A, B₁ y B₂ entre los vegetales procedentes de cultivos orgánicos y los convencionales (Clarke & Merrow, 1979; Bourn, 1994; Lecerf, 1995; Warman & Havard, 1996; Woese y col., 1997; Warman & Harvard, 1998; Kumpulainen, 2001; Bourn & Prescott, 2002). Sin embargo, se ha constatado que el contenido de β -caroteno, presenta un mayor

incremento tras la aplicación de una cierta cantidad de fertilizante convencional, que tras la aplicación de la cantidad equivalente de fertilizante orgánico (Bourn, 1994).

El contenido de vitamina C y de nitratos también parecen estar claramente afectados por el método de fertilización, con mayores niveles de vitamina C y menores de nitrato encontrados en cultivos orgánicos (Worthington, V., 1998).

El empleo de herbicidas también tiene un posible efecto en la composición nutritiva de las plantas, muchos de ellos alteran el metabolismo de las mismas y por lo tanto su composición vegetal. Por ejemplo los herbicidas que inhiben la fotosíntesis, como la triazina, producen efectos similares a las condiciones de baja iluminación y otros reducen el contenido de β -caroteno porque inhiben la síntesis de carotenoides.

En el aspecto nutricional, el informe de la FAO (julio 2000) concluye que la mayor parte de los estudios realizados para comparar la calidad de alimentos orgánicos con convencionales tienen un diseño experimental deficiente, por lo que los resultados no son fiables.

2. Objetivos

El objetivo general de este proyecto es evaluar el efecto de los sistemas de producción actualmente utilizados en el cultivo de pimiento fresco bajo invernadero en la Región de Murcia sobre el la calidad nutricional del fruto y su composición antioxidante.

Los sistemas de cultivo de producción integrada, ecológico y cultivo sin suelo han surgido como respuesta a la contaminación ambiental y de los alimentos, resultado de la práctica agrícola convencional. Son sistemas de cultivo respetuosos con el medio ambiente, cuyos productos reciben una gran aceptación por parte del consumidor, cada vez más interesado por los aspectos relacionados con la calidad nutricional y la inocuidad de los alimentos que consume. Sin embargo, en el caso del pimiento, no existen estudios ni datos suficientes que permitan concluir, de forma objetiva, el efecto que los diferentes sistemas agrícolas poseen sobre la planta y el fruto.

Objetivos específicos:

1. Estudiar el efecto de los sistemas de cultivo estudiados (integrado, ecológico y sin suelo), sobre la capacidad antioxidante del fruto en estado verde y rojo.
2. Estudiar el efecto de los sistemas de producción, sobre la calidad nutricional del pimiento fresco, considerando el contenido de azúcares solubles, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, β -carotenos y clorofilas a y b.
3. Estudiar la acumulación de sustancias nocivas para la salud (nitratos y plaguicidas) en el fruto, determinándose el efecto del sistema de cultivo sobre el contenido de estos compuestos en el tejido.

3. Material y Métodos

3.1. Material Vegetal

Para este trabajo se ha empleado pimiento (*Capsicum annuum* L.) tipo “California” variedad “Quito”. Esta variedad corresponde a un pimiento corto y de carne gruesa, destinada al mercado en fresco.

El material vegetal fue suministrado por invernaderos comerciales localizados en la Región de Murcia.

3.2. Condiciones del cultivo

Los pimientos fueron suministrados por productores de pimiento, adscritos a los diferentes sistemas de producción contemplados en el proyecto (integrado, ecológico y sin suelo). Todos ellos produjeron bajo el Código de Buenas Prácticas Agrícolas, de obligado cumplimiento en la zona en la que se realizó el estudio por estar declarada como Zona Vulnerable a la contaminación de nitratos (BORM nº 3 del 5 de enero 2004). Gracias a la proximidad existente entre las fincas, las condiciones climáticas eran las mismas para todos los invernaderos utilizados en este estudio, lo que contribuyó a minimizar las diferencias entre tratamientos que no fueran debidas al sistema de cultivo.



Figura 3.1. Localización de los invernaderos. Fuente: Cartomur.com

Las parcelas elegidas para este estudio estaban inscritas, en el caso de la Producción Ecológica, dentro del Consejo de Agricultura Ecológica de la Región de Murcia, que controla y certifica este tipo de producción. Las parcelas seleccionadas bajo Producción Integrada estaban inscritas en el Registro de Producción Integrada y/o sometidas a normas o protocolos privados (EUREP-GAP, UNE 155.000). En el caso de cultivo sin suelo, las parcelas elegidas cumplieron las normas de Control Integrado, referentes al control de plagas, incluidas en las Normas Técnicas de Producción Integrada para pimiento bajo invernadero.

3.3. Toma y preparación de muestras

3.3.1. Fruto

Se dispuso de 8 invernaderos por tratamiento (24 invernaderos en total), considerando cada uno de ellos como una repetición. Cada invernadero se subdividió en 2 bloques, definidos según la orientación del invernadero. En cada muestreo se recogieron 6-8 frutos de cada uno de los 2 bloques establecidos, que se utilizaron para las diferentes determinaciones analíticas. Los valores obtenidos para cada repetición fueron la media de los dos bloques establecidos por invernadero.

Se realizaron tres muestreos a lo largo del ciclo de cultivo coincidiendo con la primera, una intermedia y la última cosecha de pimientos, en los estados de maduración verde y rojo (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. *Fechas de recolección*

Recolección	Estado de maduración	Fechas
M1	Verde	31/03/05 – 06/04/05
	Rojo	02/05/05 – 11/05/05
M2	Verde	02/05/05 – 11/05/05
	Rojo	31/05/05 – 06/06/05
M3	Verde	31/05/05 – 06/06/05
	Rojo	05/07/05 – 13/07/05

Los pimientos de una misma repetición se dividieron en 4 partes, una de ellas se congeló a -20 °C sin lavado previo, para la determinación de plaguicidas en el fruto. Otra se destinó a la determinación de NO₃, para lo cual se lavó, se secó en estufa a 65 °C y se molió. Los trozos restantes de fruto se lavaron y se congelaron a -80 °C siendo molidos para posteriormente determinar la concentración de compuestos fenólicos, clorofilas y carotenos, azúcares solubles y ácidos orgánicos, así como la capacidad antioxidante del fruto en la fase lipofílica e hidrofílica del mismo.

3.4. Técnicas analíticas utilizadas.

3.4.1. Separación de la fracción lipofílica e hidrofílica del fruto de pimiento.

Para las extracciones se pesaron 4 g de fruto mediante balanza de precisión Sartorius 324 CP S. se añadieron 5 ml de agua destilada y se homogeneizaron las muestras mediante homogeneizador Polytron PT 3100. Se añadieron 10 ml de acetato de etilo y se homogeneizaron de nuevo. Los tubos fueron centrifugados durante 10 minutos a 8000 rpm y a 4 °C en una centrífuga Eppendorf 5810R. Una vez separadas las fases hidrofílica y lipofílica se retiró el sobrenadante (fase lipofílica) que fue recogido en un matraz aforado de 25 ml. Se adicionaron de nuevo 5ml de acetato de etilo a la fase acuosa y se agitaron los tubos en un agitador orbital Heidolph Reax 2. Las muestras se centrifugaron nuevamente durante 10 minutos a 800 rpm a 4 °C, y se recogió el sobrenadante obtenido, combinandolo con el anterior. Este proceso se repitió 3 veces. Finalmente se llevó la fase lipofílica a un volumen final de 25 ml con acetato de etilo y se congeló una alícuota de 10 ml a -80 °C.

En la fase lipofílica obtenida se determinaron los carotenos totales, clorofilas, capacidad antioxidante.

La fase acuosa resultante de las sucesivas extracciones con acetato de etilo y se filtró a través de un filtro milipore de 0,45 µm y se guardó en tubos Eppendorf a

-80 °C, para la determinación de compuestos fenólicos totales, la capacidad antioxidante, ácidos orgánicos y azúcares solubles.

3.4.2. Determinación de carotenos totales.

La determinación de la concentración de carotenos se realizó, midiendo la absorbancia de las muestras de la fase lipofílica a 450 nm de longitud de onda. La cuantificación se realizó mediante curva de calibrado, utilizando una disolución madre de β -caroteno en acetato de etilo con una concentración de 100 ppm. A partir de la solución madre se obtuvieron 6 disoluciones patrón, de concentraciones, 0, 1, 2, 3, 4 y 5 ppm con las que se construyó una recta de calibrado que relacionaba la concentración de β -caroteno de la muestra con la absorbancia de la misma a una longitud de onda de 450 nm.

3.4.3. Determinación de clorofilas.

La determinación de clorofilas también se realizó a partir de la absorbancia de la fase lipofílica obtenida en las extracciones a dos longitudes de onda diferentes, 663 nm y 645nm, mediante las siguientes fórmulas:

Concentración de clorofilas A (Cl a) expresada en $\text{mg}\cdot 100 \text{ ml}^{-1}$

$$\text{Cl a} = [0,9999 \cdot \text{Abs}(663)] - [0,0989 \cdot \text{Abs}(645)]$$

Concentración de clorofilas B (Cl b) expresada en $\text{mg}\cdot 100 \text{ ml}^{-1}$

$$\text{Cl b} = [-0,328 \cdot \text{Abs}(663)] + [1,77 \cdot \text{Abs}(645)]$$

Concentración de clorofilas totales expresada en $\text{mg}\cdot 100 \text{ ml}^{-1}$

$$\text{Cl total} = \text{Cl a} + \text{Cl b}$$

Las concentraciones obtenidas se expresaron posteriormente en $\text{mg}\cdot \text{g}^{-1}$ de peso fresco de pimiento.

3.4.4. Determinación de compuestos fenólicos totales

Los compuestos fenólicos totales se determinaron en la fase hidrofílica, para la determinación, se realizó una recta de calibrado a partir de las medidas de absorbancia de siete disoluciones patrón, cuyas concentraciones fueron: 0, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 ppm de ácido gálico diluido en agua.

A una alícuota de 50 μL de muestra se añadieron 250 μL de reactivo Folin. Se agitó y dejó reposar durante 8 minutos, tras lo que se adicionó 1 ml de Carbonato sódico al 2%, se agitó nuevamente y se incubó a 35 °C durante 20 minutos. Una vez completado este proceso se midió la absorbancia de las muestras a 765 nm de longitud de onda. Todas las determinaciones se realizaron por duplicado, los resultados se elaboraron calculando el promedio y expresando la concentración de compuestos fenólicos correspondiente a dicha lectura, en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de material de peso fresco de fruto.

3.4.5. Determinación de la capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante es una medida de todos los antioxidantes presentes en un material biológico, tales como vitaminas, sistemas antioxidantes de radicales enzimáticos, antioxidantes desconocidos y las interacciones antioxidantes. Se trata de un marcador sensible que permite detectar pequeñas diferencias mucho mejor que las mediciones de los antioxidantes por separado.

El método utilizado en este trabajo para la determinación de la capacidad antioxidante fue un ensayo de decoloración aplicable tanto a sustancias lipofílicas como a sustancias hidrofílicas.

Para esta determinación se empleó 2,2'-azino-bis(3-azilbenzo-tiazol-6 sulfónico) (ABTS) en forma no iónica, el cual presenta un color verde claro en su forma reducida. El procedimiento consistió en formar un radical, al oxidar el compuesto con enzima peróxidasa procedente de rábano (HPR), produciéndose así un oscurecimiento del color y volver a reducirlo al añadir una sustancia antioxidante,

midiendo el cambio de coloración debida a la reducción. A la hora de determinar la actividad antioxidante se tomaron en consideración tanto la concentración del antioxidante como la duración de la reacción.

La medida del cambio de coloración se obtuvo por la diferencia entre las lecturas de absorbancia inicial, tras la formación del radical, y la lectura final, una vez adicionada la muestra correspondiente para una radiación de 730 nm de longitud de onda. La diferencia entre las medidas de absorbancia inicial y final debida a la reducción experimentada por el compuesto, proporciona de manera indirecta la capacidad antioxidante de la sustancia reductora.

3.4.5.1. Fracción hidrofílica

Para la determinación de la capacidad antioxidante en la fracción hidrofílica se preparó una disolución de ABTS 2 mM en tampon fosfato 50 mM (pH = 7,5).

Para las medidas de absorbancia se emplearon cubetas de plástico de 1,5 ml, en las que se dispuso 1 ml de la disolución de ABTS preparada a la que se añadieron 30 µL de H₂O₂ 1 mM y 25 µL de HRP 0,25 Mm. Una vez preparada la mezcla se midió la absorbancia de la misma y se añadieron 10 µL de muestra, se agitó y tras 2 minutos se midió la absorbancia final.

Para el cálculo de la capacidad antioxidante de la fracción hidrofílica de las muestras se preparó una recta de calibrado, con 7 disoluciones patrón de ácido ascórbico en agua de concentraciones 0, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5 mM. Se calculó posteriormente el índice TEAC definido como “Trolox Equivalent Antioxidant Capacity”

$$\text{Índice TEAC} = \frac{\% \text{ Inhibición} - a}{b}$$

donde:

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{A_0 - A}{A_0} \cdot 100$$

siendo:

A_0 ; absorbancia inicial de la muestra.

A; absorbancia final de la muestra.

Los parámetros a y b se obtienen de la recta de calibrado:

$$y = a + b \cdot x$$

siendo:

y; % inhibición del patrón en función de la concentración de ácido ascórbico.

x; concentración de ácido ascórbico

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

3.4.5.2. Fracción lipofílica

Para la determinación de la capacidad antioxidante de la fracción lipofílica se preparó una disolución de ABTS 0,0625 mM en etanol acidificado. A 1 ml de esta disolución se añadieron 30µl de H₂O₂ y tras esperar 5 minutos se añadieron 25µL de peroxidasa. Una vez preparada la mezcla se midió la absorbancia inicial (A_0) µL de muestra, se agitó y tras 2 minutos se midió la absorbancia final (A).

Para la determinación de la capacidad antioxidante de la fracción lipofílica de las muestras se preparó una recta de calibrado, con 7 disoluciones patrón de Trolox en acetato de etilo de concentraciones 0, 0,01, 0,025, 0,05, 0,1, 0,2, 0,3 mM.

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y los cálculos se realizaron de forma análoga a los realizados en la fracción lipofílica

3.4.6. Determinación de azúcares solubles

Para la determinación de los azúcares solubles mayoritarios en la fracción hidrofílica de fruto de pimiento se utilizó un cromatógrafo líquido (HPLC) Hewlett Packard 1050, provisto de un detector de índice de refracción (HP Serie 1100).

La cuantificación de los azúcares se llevó a cabo con el programa ChemStation Rev. A10.01 [1635] Agilent Technologies 1990-2003. Los picos del cromatograma obtenido a partir de la señal RID 1 A (Refractive Index Signal) fueron identificados usando azúcares comerciales de referencia, cuyos tiempos de retención fueron 15, 19 y 27, minutos para la sacarosa, glucosa y fructosa respectivamente.

Se utilizaron una columna y precolumna CARBO Sep CHO-682 LEAD y agua MilliQ como fase móvil con un flujo de $0,4 \text{ ml min}^{-1}$.

Las áreas de los picos del cromatograma se calcularon mediante calibración a partir de estándares externos de los distintos azúcares sacarosa, glucosa y fructosa, de concentración conocida, 2500 ppm. Para lo cual se realizó una recta de calibrado conteniendo glucosa, fructosa y sacarosa a 1000, 2500, 5000, 7500, 10000 ppm.

3.4.7. Determinación de ácidos orgánicos

Al igual que en el caso de la determinación de los azúcares solubles, la cuantificación de los ácidos orgánicos se llevó a cabo con el programa ChemStation Rev. A10.01 [1635] Agilent Technologies 1990-2003, mediante un cromatógrafo líquido (HPLC) Hewlett Packard 1050, provisto de un detector DAD (HP serie1100). Los picos del cromatograma obtenido a partir de la señal DAD 210,8 fueron identificados usando patrones de ácidos orgánicos comerciales de referencia, cuyos tiempos de retención fueron 2,9, 3,4, 4,7 minutos para el ácido cítrico, ácido ascórbico y el ácido málico respectivamente.

Se utilizó una columna ProntoSil (250 x 3.0mm) 120-3-C18 AQ (3.0 Mm) y H_3PO_4 50 mM como fase móvil con un flujo de $0,5 \text{ ml min}^{-1}$.

Las áreas de los picos del cromatograma se calcularon mediante calibración a partir de estándares externos de los distintos ácidos orgánicos ascórbico, málico y cítrico, de concentración conocida, de 100 ppm. Para lo cual se realizó una recta de calibrado conteniendo los ácidos málico, ascórbico y cítrico con patrones de concentraciones 50, 100, 250, 500, 1000 ppm.

3.4.8. Contenido en agua

Este parámetro se calculó a partir de la medida del peso fresco de una muestra de fruto, de aproximadamente 250 g y del peso seco de la muestra, después de desecar en estufa a 65 °C durante 3 días, hasta peso constante.

3.4.9. Contenido en NO₃⁻

Para la determinación del anión NO₃⁻ se pesaron 50 mg de material vegetal seco en tubos de plástico y se le adicionaron 10 ml de agua desionizada. Posteriormente se agitaron durante 30 minutos en un agitador orbital Heidolph Reax 2 y a continuación se filtraron mediante filtros de jeringa de 45 µm de diámetro de poro. El anión NO₃⁻ se determinó en un cromatógrafo iónico Dionex ICS-3000 DC provisto de una supresora ASRS-ULTRA II 4mm y utilizando una precolumna AG9-HC 4x50 mm y una columna AS9-HC 4x250 mm. La fase móvil utilizada fue Na₂CO₃ 9 mM y el flujo de 1ml/minuto.

3.4.10. Residuos de plaguicidas en frutos de pimiento

Extracción. Para la extracción de residuos de plaguicidas en las muestras de pimiento se pesaron 10g de fruto previamente triturado y se homogeneizaron con 20 ml de acetona usando un homogeneizador Polytron PT2000 (Cinématica AG, Lucerna, Suiza). A continuación se añadieron 20 ml de una mezcla de acetato de etilo/ciclohexano (1/1, v/v), se agitó y se centrifugó durante 10 min a 4000g con una centrifuga Eppendorf modelo 2810R (Hamburgo, Alemania). El extracto se filtró a través de un filtro de papel DP302, de 150 mm de diámetro (Albet, Barcelona). La fase orgánica se llevó a sequedad en un evaporador rotativo Büchi modelo R-205

(Flawil, Suiza). El residuo se redisolvió en 5 ml de acetato de etilo/ciclohexano (1/1, v/v) y se utilizó para el análisis cromatográfico.

Patrones. Se prepararon disoluciones individuales de plaguicidas estándar de concertación $1000 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ disolviendo 0,025 g de la materia activa en acetato de etilo/ciclohexano (1/1, v/v). Se hizo una disolución estándar intermedia ($10\mu\cdot\text{ml}^{-1}$) transfiriendo 1ml de cada solución de pesticida a un matraz de 100ml y diluyendo con acetato de etilo/ciclohexano (1/1, v/v).

Condiciones cromatográficas. Para la identificación de residuos de plaguicidas se empleó un cromatógrafo de gases Agilent (Waldbronn, Alemania) modelo HP 6890 equipado con un detector espectrómetro de masas. Una vez identificados, los niveles de plaguicidas se cuantificaron mediante un cromatógrafo de gases Agilent (Waldbronn, Alemania) modelo HP 6890 equipado con un detector nitrógeno-fósforo y un inyector automático Agilent 7683. Se empleó una columna capilar de sílica (30 m, 0.25 mm d.i.) suministrada por Agilent Technologies. Las temperaturas del inyector y el detector fueron 250 y 325°C respectivamente. Se empleó N_2 como gas “make-up” y He como gas portador. La temperatura de la columna se mantuvo a 70 °C durante 2 min y posteriormente se incrementó a una velocidad de $25 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ hasta 150°C, $3 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ hasta 200 °C y $8 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ hasta 280 °C, manteniendo esta temperatura final durante 10 min. El tiempo total del análisis fue de 41,87 min. La concentración de cada compuesto se determinó comparando las áreas de los picos de las muestras con las obtenidas en las disoluciones patrón de cada plaguicida, de concentración conocida.

3.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico de todos los resultados fue realizado por el programa informático SPSS 13.0 para Windows, mediante en análisis de la varianza y el test de rango múltiple de Tukey.

4. Resultados

4.1. Efecto de los de los diferentes sistemas de cultivo sobre la actividad antioxidante de los frutos de pimiento en los estados de maduración verde y rojo

4.1.1. Actividad antioxidante de la fracción hidrofílica

La actividad antioxidante de la fracción hidrofílica (AAH) de los frutos en estado de maduración verde, no presentó diferencias significativas entre los sistemas de cultivo ni las diferentes cosechas (Tabla 4.1). El valor más alto se alcanzó en el sistema SS durante la tercera cosecha (Figura 4.1). Mientras que en la primera y segunda cosecha los valores en PI fueron superiores a los obtenidos en el tratamiento E, en la tercera cosecha se invirtió esta tendencia, siendo ligeramente superior el tratamiento E.

Los frutos en estado de maduración rojo, presentaron valores de AAH entre 2 y 4 veces superiores a los verdes (Tabla 4.1). En este caso se observó un efecto significativo ($p < 0,001$) de los tratamientos. En el sistema SS, el valor de AAH fue superior al observado en los sistemas E y PI en todas las cosechas (Figura 4.1).

El test ANOVA no detectó diferencias significativas entre cosechas en los frutos rojos. Sin embargo se observó una interacción significativa ($p < 0,01$) entre tratamientos y cosechas debido a la diferente evolución de los tratamientos a lo largo del ciclo de cultivo.

Tabla 4.1. Efecto de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de la cosecha, sobre la actividad antioxidante de la fracción hidrofílica (AAH) de pimiento en estado de maduración verde y rojo, expresados en índice TEAC.

EFFECTOS PRINCIPALES

	Fruto Verde	Fruto Rojo
Sistema de cultivo		
E	2,19	5,98a
PI	2,72	6,85b
SS	2,60	8,23c
	n.s	***
Cosechas		
1	2,63	7,63
2	2,34	7,53
3	2,80	6,70
	n.s	n.s

INTERACCIÓN

Tratamiento x Cosecha	n.s	**
------------------------------	-----	----

***, ** y * indican diferencias significativas entre medias con un nivel de probabilidad del 0.1, 1 y 5% respectivamente, según el análisis de la varianza (n.s. = no significativo). Valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes entre sí a $p < 0.05$, de acuerdo con el test de Tukey.

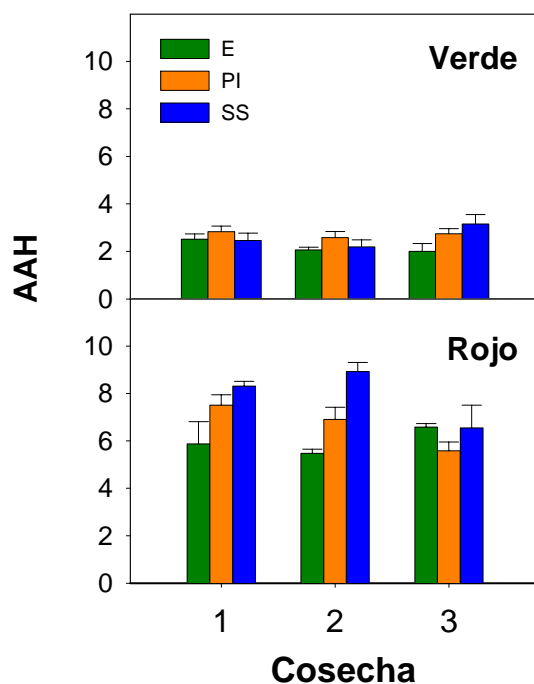


Figura 4.1. Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la actividad antioxidante en la fase hidrofílica (AAH) de frutos en estado de maduración verde y rojo. Los valores son medias \pm error estándar ($n=8$).

4.1.2. Actividad antioxidante de la fracción lipofílica

En el caso de actividad antioxidante de la fase lipofílica (AAL), tanto el sistema de cultivo como la cosecha afectaron significativamente ($p<0,001$) a los frutos verdes (Tabla 4.2). En todas las cosechas los valores de los frutos del tratamiento E, fueron superiores a los del sistema de PI y estos a los obtenidos en el SS (Figura 4.2).

La tendencia general en todos los tratamientos fue a disminuir de las dos primeras cosechas a la última.

Tabla 4.2. Efecto de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de la cosecha, sobre la actividad antioxidante de la fracción lipofílica (AAL) de pimiento en estado de maduración verde y rojo, expresados en índice TEAC.

EFFECTOS PRINCIPALES

	Fruto Verde	Fruto Rojo
Sistema de cultivo		
E	0,0149c	0,063b
PI	0,0122b	0,063b
SS	0,0085a	0,054a
	***	**
Cosechas		
1	0,012b	0,064b
2	0,013b	0,051a
3	0,081a	0,064b
	***	***

INTERACCIÓN

Tratamiento x Cosecha	n.s	***
------------------------------	-----	-----

***, ** y * indican diferencias significativas entre medias con un nivel de probabilidad del 0.1, 1 y 5% respectivamente, según el análisis de la varianza (n.s. = no significativo). Valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes entre sí a $p < 0.05$, de acuerdo con el test de Tukey.

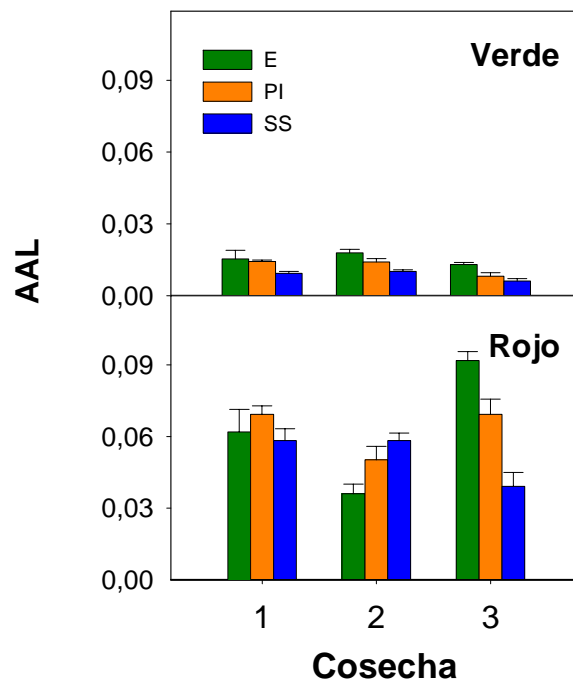


Figura 4.2. Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la actividad antioxidante en la fracción lipofílica (AAL) de frutos en estado de maduración verde y rojo. Los valores son medias \pm error estándar ($n=8$).

Al igual que en el caso de la AAH, la AAL fue muy superior en los frutos rojos respecto a los verdes (entre 2 y 9 veces). El efecto de los tratamientos sobre la AAL en el estado de maduración rojo interaccionó significativamente ($p<0,001$) con la cosecha. Mientras el E presentó valores de AAL inferiores a PI y SS en la primera y segunda cosecha al final del cultivo la AAL de este sistema fue superior a la del PI y SS (Figura 4.2).

4.2. Efecto de los diferentes sistemas de cultivo sobre la concentración de compuestos con actividad antioxidante en la fracción lipofílica

Los compuestos que confieren capacidad antioxidante a la fracción lipofílica son los β -carotenos, la clorofila a (Cl a) y clorofila b (Cl b). A continuación se presentan los resultados obtenidos del efecto de los tratamientos y de la cosecha sobre dichos compuestos.

4.2.1. Clorofila

En pimiento verde, el sistema de cultivo no tuvo efecto significativo sobre la concentración de clorofila a y b en fruto (Tabla 3.3). Sin embargo, si se observó un efecto significativo de la cosecha ($p < 0,001$), siendo los valores de clorofila superiores en la primera cosecha que en las cosechas sucesivas para todos los tratamientos (Figura 3.3).

En los pimientos rojos la concentración de clorofilas fue del orden de 100 veces inferior al de los frutos verdes (Tabla 3.3). Se observaron diferencias significativas ($p < 0,001$) entre los distintos sistemas de cultivo, en lo referente al contenido de clorofilas a y b. El tratamiento SS obtuvo valores superiores para ambos parámetros tanto en la primera como la segunda cosecha, sin embargo, éstos fueron ligeramente inferiores a los demás tratamientos en la última cosecha (Figura 3.3).

También se observó un efecto significativo de la cosecha en los valores de clorofila a ($p < 0,05$) y clorofila b ($p < 0,01$).

Tabla 4.3. Efecto de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de la cosecha, sobre el contenido de clorofila a (Cl a) y clorofila b (Cl b) en pimiento en estado de maduración verde y rojo, expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{PF}$.

EFFECTOS PRINCIPALES

	Fruto Verde	Fruto Rojo			
		Cl a	Cl b	Cl a	Cl b
Sistema de cultivo					
E	48,54	27,80	0,50a	0,70ab	
PI	48,80	28,07	0,50a	0,70a	
SS	46,47	27,11	0,51b	0,71b	
	n.s	n.s	***	***	
Cosechas					
1	53,61b	30,56b	0,51b	0,71b	
2	46,38a	26,81a	0,50a	0,70a	
3	43,34a	25,50a	0,50ab	0,70ab	
	***	***	*	**	

INTERACCIÓN

Tratamiento x Cosecha	*	n.s	*	**
------------------------------	---	-----	---	----

***, ** y * indican diferencias significativas entre medias con un nivel de probabilidad del 0.1, 1y 5% respectivamente, según el análisis de la varianza (n.s. = no significativo). Valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes entre sí a $p < 0.05$, de acuerdo con el test de Tukey.

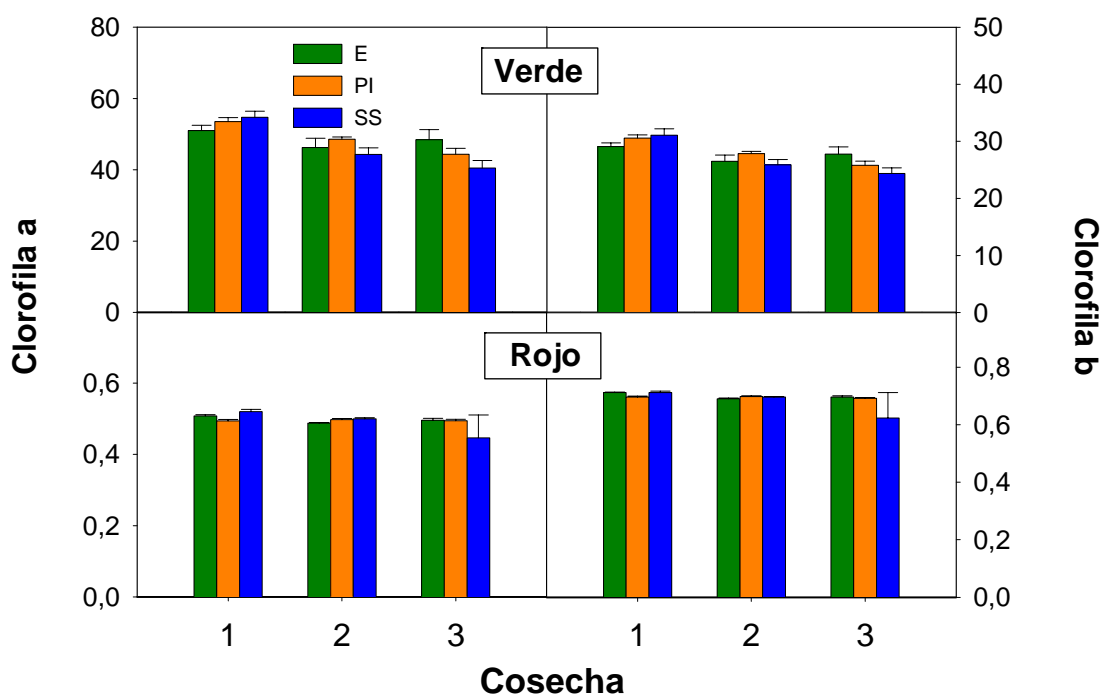


Figura 4.3. Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de clorofila a y b en frutos en estado de maduración verde y rojo. Los valores son medias \pm error estándar ($n=8$).

4.2.2. β -carotenos

No se observó efecto significativo de los tratamientos sobre la concentración de β -caroteno en pimiento verde (Tabla 3.4). El valor más elevado correspondió al tratamiento SS en la primera cosecha (Figura 3.4). Tampoco se observó un efecto de los tratamientos en los frutos rojos.

A lo largo del ciclo de cultivo el contenido de β -caroteno disminuyó tanto en los frutos verdes como en los rojos (Figura 3.4), existiendo un efecto significativo de la cosecha ($p<0,001$) sobre el contenido de β -caroteno. Así los pimientos rojos presentaron valores en la primera cosecha alrededor de un 70% mayores a los de la última, como se puede observar en la Figura 3.4.

Tabla 4.4. Efecto de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de la cosecha sobre el contenido de β -caroteno, en pimiento en estado de maduración verde y rojo, expresado en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{PF}$.

EFFECTOS PRINCIPALES			
	Fruto Verde	Fruto Rojo	
Sistema de cultivo			
E	23,79	114,51	
PI	26,08	119,60	
SS	25,69	115,69	
	n.s	n.s	
Cosechas			
1	28,95b	139,96b	
2	25,81b	112,89a	
3	21,90a	96,96a	
	***	***	
INTERACCIÓN			
Tratamiento x Cosecha	n.s	n.s	

***, ** y * indican diferencias significativas entre medias con un nivel de probabilidad del 0.1, 1 y 5% respectivamente, según el análisis de la varianza (n.s. = no significativo). Valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes entre sí a $p < 0.05$, de acuerdo con el test de Tukey.

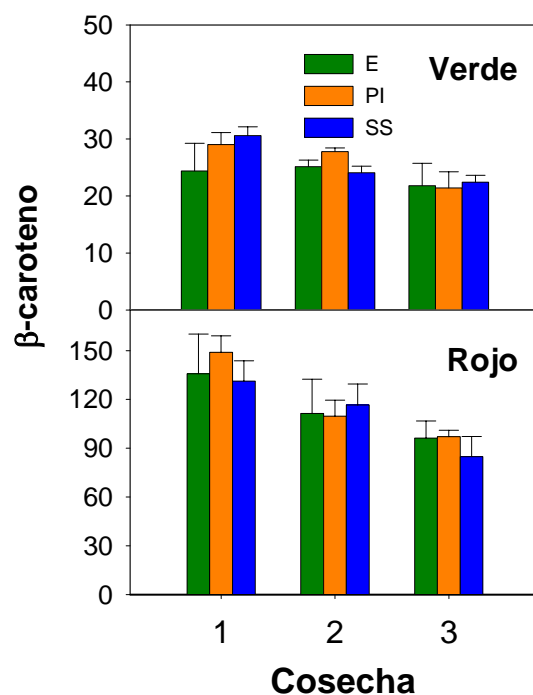


Figura 4.4. Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de β -caroteno en frutos en estado de maduración verde y rojo. Los valores son medias \pm error estándar ($n=8$).

4.3. Efecto de los de los diferentes sistemas de cultivo sobre la concentración de compuestos con actividad antioxidante en la fracción hidrofílica

4.3.1. Compuestos fenólicos

En los frutos en estado de maduración verde, se observaron diferencias significativas ($p < 0,005$) en la concentración de compuestos fenólicos totales entre los diferentes sistemas de cultivo (Tabla 4.5). Así, en todas las cosechas la concentración en PI fue superior a SS y esta a su vez superior a E (Figura 4.5).

En todos los sistemas de cultivo la concentración disminuyó a lo largo del ciclo, existiendo un efecto significativo de la cosecha ($p < 0,001$) sobre la concentración de compuestos fenólicos.

Tabla 4.5. Efecto de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de la cosecha, sobre la concentración de compuestos fenólicos en pimiento en estado de maduración verde y rojo, expresados en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{PF}$.

EFFECTOS PRINCIPALES

	Fruto Verde	Fruto Rojo
Sistema de cultivo		
E	0,42a	0,68a
PI	0,51b	0,76b
SS	0,47ab	0,82b
	*	***
Cosechas		
1	0,55b	0,84c
2	0,45a	0,78b
3	0,44a	0,68a
	**	***

INTERACCIÓN

Tratamiento x Cosecha	n.s	*
------------------------------	-----	---

***, ** y * indican diferencias significativas entre medias con un nivel de probabilidad del 0.1, 1 y 5% respectivamente, según el análisis de la varianza (n.s. = no significativo). Valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes entre sí a $p < 0.05$, de acuerdo con el test de Tukey.

En pimiento rojo, las diferencias entre tratamientos fueron significativas ($p < 0,001$), siendo el pimiento cultivado bajo tratamiento E el que presentó valores menores (Figura 4.5). También se observaron diferencias significativas entre las cosechas ($p < 0,001$), y los valores fueron disminuyendo paulatinamente a lo largo del ciclo de cultivo (Tabla 4.5).

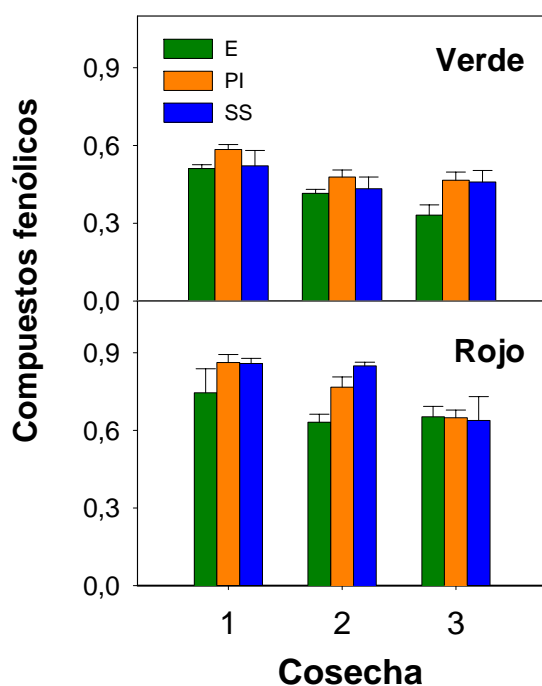


Figura 4.5. Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de compuestos fenólicos en frutos en estado de maduración verde y rojo. Los valores son medias \pm error estándar ($n=8$).

4.3.2. Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos mayoritarios detectados en pimiento son el ácido málico, ascórbico y cítrico.

4.3.2.1. Ácido málico

Sólo se detectó ácido málico en los frutos de pimiento en estado de maduración verde. En lo referente a la influencia del sistema de cultivo sobre la concentración de ácido málico en los frutos verdes, no se encontraron diferencias significativas (Tabla 4.6). Existió un efecto significativo de la cosecha ($p<0,001$) sobre la concentración de ácido málico. Los valores más altos se registraron en la

primera cosecha, en la que fueron del orden de un 25% superiores a los registrados en las cosechas 2 y 3 (Figura 4.6). La interacción entre el efecto del sistema de cultivo y la cosecha fue significativo ($p < 0,05$) debido a la diferente evolución de los tratamientos a lo largo del ciclo de cultivo.

Tabla 4.6. Efecto de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de la cosecha sobre la concentración de ácidos orgánicos, (málico, ascórbico y cítrico), en pimiento en estado de maduración verde y rojo, expresado en mg·g⁻¹ PF.

EFFECTOS PRINCIPALES

	Fruto Verde			Fruto Rojo		
	Málico	Ascórbico	Cítrico	Málico	Ascórbico	Cítrico
Sistema de cultivo						
E	0,97	1,43	0,72a	n.d	1,68a	3,78a
PI	1,06	1,60	1,08b	n.d	2,05b	4,43b
SS	0,99	1,49	0,88ab	n.d	2,17b	3,72a
	n.s.	n.s.	**		***	***
Cosechas						
1	1,26b	1,85b	1,10b	n.d	2,20c	4,30b
2	0,95a	1,32a	0,85a	n.d	2,04b	3,80a
3	0,84a	1,42a	0,87a	n.d	1,87a	3,98ab
	***	***	**		*	*

INTERACCIÓN

Sistema de cultivo x Cosecha	*	n.s.	n.s.		**	n.s.
-------------------------------------	---	------	------	--	----	------

***, ** y * indican diferencias significativas entre medias con un nivel de probabilidad del 0.1, 1 y 5% respectivamente, según el análisis de la varianza (n.s. = no significativo, n.d.=no detectado). Valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes entre sí a p<0.05, de acuerdo con el test de Tukey.

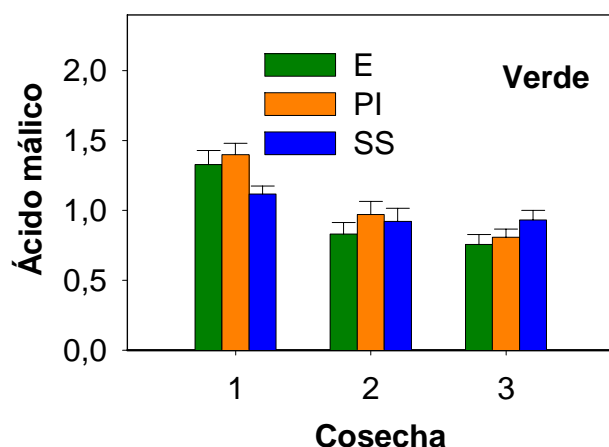


Figura 4.6. Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de ácido málico en frutos en estado de maduración verde. Los valores son medias \pm error estándar ($n=8$).

4.3.2.2. Ácido ascórbico

No se observó efecto significativo del tratamiento sobre la concentración de ácido ascórbico en los frutos de pimiento en estado de maduración verde (Tabla 4.6). Los valores más elevados se presentaron en la primera cosecha (Figura 4.7) y al igual que en el caso del ácido málico, existió un efecto significativo de la cosecha ($p<0,001$) sobre la concentración de ácido ascórbico, siendo los valores de la cosecha 1 alrededor de un 30% superiores a los registrados en las cosechas restantes.

En lo que respecta a los frutos rojos, sí se presentaron diferencias significativas ($p<0,001$) en la concentración de ácido ascórbico en función del sistema de cultivo (Tabla 4.6). En general, el tratamiento E presentó valores del orden del 20% inferiores a los tratamientos PI y SS. A lo largo del ciclo de cultivo la concentración de ácido ascórbico fue disminuyendo a razón de un 8-9% entre las sucesivas cosechas, existiendo diferencias significativas ($p<0,05$) entre las concentraciones obtenidas.

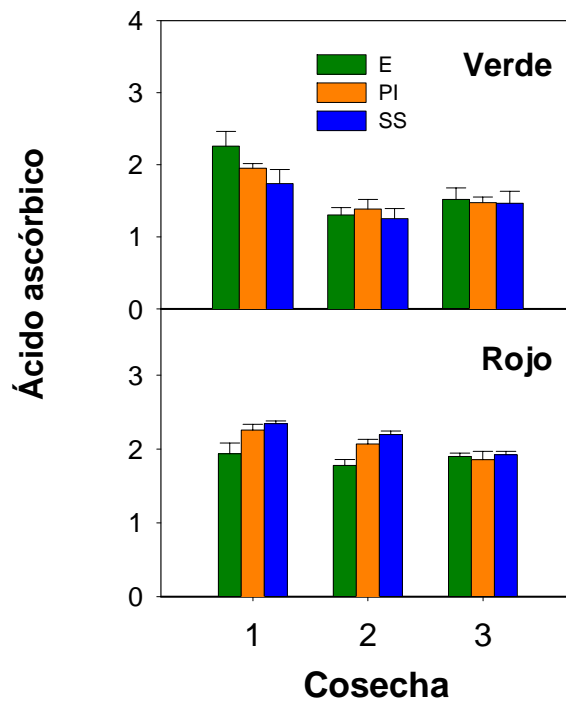


Figura 4.7. Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de ácido ascórbico en frutos en estado de maduración verde y rojo. Los valores son medias \pm error estándar (n=8).

La interacción entre el efecto de los tratamientos y la cosecha también fue significativo ($p < 0,01$).

4.3.2.3. Ácido cítrico

Se observaron diferencias significativas ($p < 0,01$) entre tratamientos para los frutos verdes siendo los valores del sistema PI claramente superiores a los tratamientos restantes (Figura 4.8). De nuevo, el tratamiento E registró los menores valores (Tabla 4.6). Se observaron nuevamente diferencias significativas ($p < 0,01$) entre las distintas cosechas siendo de nuevo las concentraciones de ácido cítrico superiores en la cosecha 1.

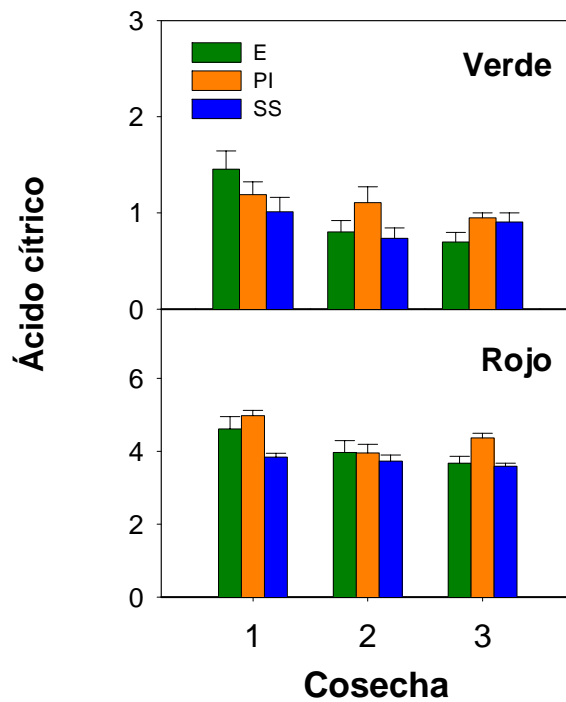


Figura 4.8. Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de ácido cítrico en frutos en estado de maduración verde y rojo. Los valores son medias \pm error estándar ($n=8$).

Los frutos rojos presentaron resultados similares a los obtenidos en los frutos verdes. Existió un efecto significativo ($p<0,001$) entre tratamientos perteneciendo los valores más altos al tratamiento PI (Figura 4.8). Se presentaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre cosechas, siendo la cosecha 1 la que presentó frutos con concentraciones superiores de ácido cítrico.

En ambos estados de maduración, verde y rojo, la concentración de ácido cítrico evolucionó a lo largo de las cosechas según el orden $1>3>2$.

4.4. Efecto de los de los diferentes sistemas de cultivo sobre la concentración de glucosa, fructosa y sacarosa en frutos de pimiento

4.4.1. Glucosa

La concentración de glucosa en fruto no se vio afectada por los tratamientos ni por la cosecha en pimiento verde (Tabla 4.7). Sin embargo, en pimiento rojo los valores fueron superiores para los pimientos cultivados bajo PI en todas las cosechas, encontrándose diferencias significativas ($p < 0,001$) entre tratamientos siendo los valores de PI superiores a SS y estos mayores al tratamiento E. No se observaron diferencias entre cosechas. La concentración de glucosa se duplicó del estado de maduración verde al rojo (Figura 4.9).

Tabla 4.7. Efecto de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de la cosecha sobre el contenido de azúcares solubles (sacarosa, glucosa y fructosa) en pimiento en estado de maduración verde y rojo, expresados en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{PF}$.

EFFECTOS PRINCIPALES						
	Fruto Verde			Fruto Rojo		
	Sacarosa	Glucosa	Fructosa	Sacarosa	Glucosa	Fructosa
Sistema de cultivo						
E	2,71a	12,36	12,31	1,89ab	23,78a	25,58a
PI	4,26b	11,74	11,36	1,29a	27,51b	33,11b
SS	3,31ab	12,59	12,34	2,34b	25,50ab	30,41b
	*	n.s	n.s	**	***	***
Cosechas						
1	3,28	11,60a	11,97	1,74	26,20	31,79
2	3,44	12,18ab	11,48	1,84	25,55	29,95
3	4,13	12,81b	12,32	1,92	26,45	30,45
	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
INTERACCIÓN						
Sistema de cultivo x Cosecha	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

***, ** y * indican diferencias significativas entre medias con un nivel de probabilidad del 0.1, 1 y 5% respectivamente, según el análisis de la varianza (n.s. = no significativo). Valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes entre sí a $p < 0.05$, de acuerdo con el test de Tukey.

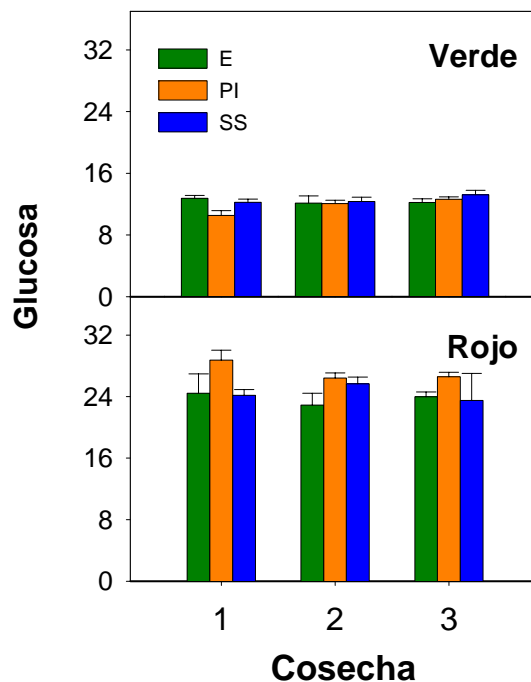


Figura 4.9. Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de glucosa en frutos en estado de maduración verde y rojo. Los valores son medias \pm error estándar ($n=8$).

4.4.2. Fructosa

Al igual que para glucosa, no se observaron diferencias significativas en la concentración de fructosa en pimiento verde entre los diferentes tratamientos ni tampoco entre las diferentes cosechas (Tabla 4.7). Los valores de la concentración de fructosa fueron muy similares a los de glucosa.

En pimiento rojo el efecto de los tratamientos sobre la concentración de fructosa fue similar al observado sobre la glucosa. La PI presentó los valores más altos. Mientras que en pimiento verde los valores de glucosa y fructosa fueron de similar magnitud, en pimiento rojo los valores de la concentración de fructosa fueron superiores a los de glucosa en todos los tratamientos (Figura 4.10).

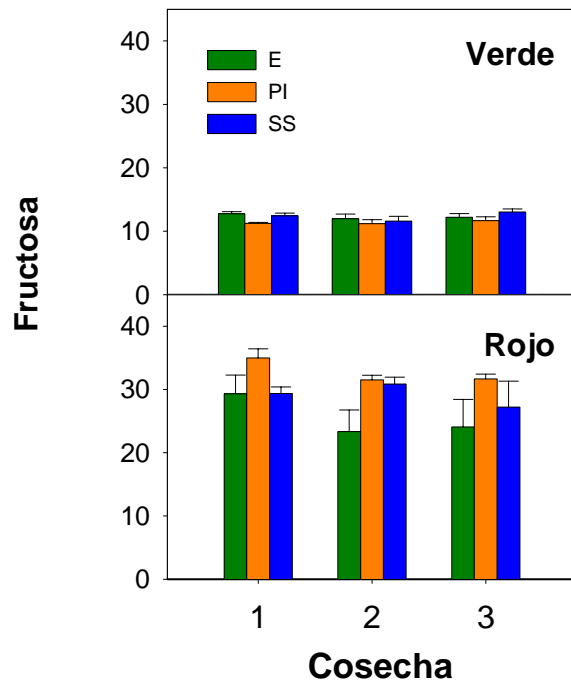


Figura 4.10. Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de fructosa en frutos en estado de maduración verde y rojo. Los valores son medias \pm error estándar ($n=8$).

4.4.3. Sacarosa

En pimiento verde, los tratamientos afectaron significativamente ($p<0,005$) al contenido de sacarosa en fruto (Tabla 4.7). Los pimientos cultivados bajo PI presentaron el contenido mayor de sacarosa, seguidos de los correspondientes a SS.

En pimiento rojo se observó una disminución del contenido de sacarosa respecto al verde de un 56, 70 y 25% para E, PI y SS respectivamente, presentando la PI los valores de sacarosa más bajos (Figura 4.11).

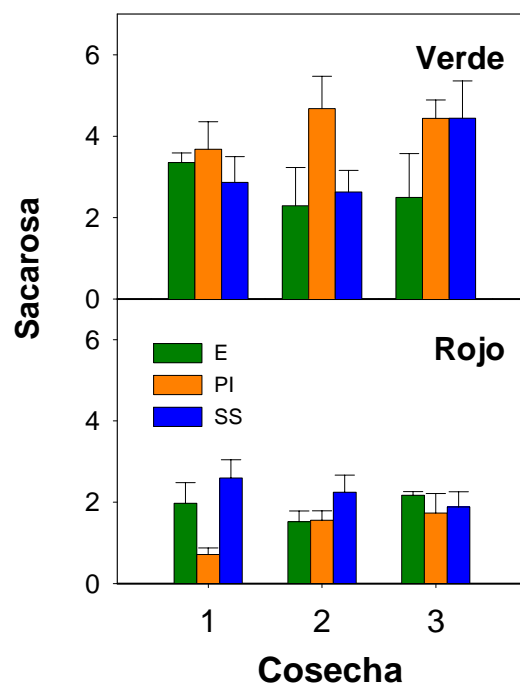


Figura 4.11. Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre la concentración de sacarosa en frutos en estado de maduración verde y rojo. Los valores son medias \pm error estándar (n=8).

4.5. Relación de la AAH y AAL con la concentración de diferentes compuestos

La actividad antioxidante de los frutos estuvo correlacionada con la concentración de varios compuestos. Así la AAH en los frutos verdes estuvo significativamente correlacionada con las concentraciones de compuestos fenólicos, ácido ascórbico, ácido cítrico y sacarosa (Tabla 4.8). Mientras que en el caso de la AAL, se observó una correlación con el contenido de clorofilas totales.

Tabla 4.8. *Correlación Pearson entre la actividad antioxidante del fruto de pimiento en estado de maduración verde y rojo y la concentración de diversos compuestos.*

Correlación de Pearson	Fruto Verde		Fruto Rojo	
	AAH	AAL	AAH	AAL
Compuestos fenólicos	0,620**	-	0,653**	-
Ácido ascórbico	0,601**		0,408**	-
Ácido cítrico	0,401**	-	-	-
β -caroteno	-	-	-	0,421**
Clorofila total	-	0,249**	-	-

** indican correlación significativa al 1%.

La AAH de los frutos rojos estuvo correlacionada con la concentración de compuestos fenólicos y ácido ascórbico, mientras que, la AAL estuvo directamente relacionada con la concentración de β -caroteno.

4.6. Efecto de los diferentes sistemas de cultivo sobre el contenido en agua de los frutos de pimiento

Los sistemas de cultivo afectaron significativamente ($p < 0,001$) al contenido en agua en el fruto de pimiento verde que fue superior en el sistema de cultivo E en relación al PI y al SS (Tabla 4.9). En el caso de los frutos en estado de maduración rojo se observó un efecto significativo tanto del sistema de cultivo ($p < 0,001$) como de la cosecha ($p < 0,001$) sobre el contenido de agua del fruto (Tabla 4.9).

Tabla 4.9. Efectos de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de la cosecha sobre el contenido en agua (%) en pimiento verde y rojo.

EFFECTOS PRINCIPALES		Fruto Verde	Fruto Rojo
Tratamientos			
	E	94,5 b	93,4 b
	PI	93,4 a	91,3 a
	SS	93,7 a	92,3 ab
		***	**
Cosechas			
	1	93,5	91,7
	2	93,7	92,5
	3	94,0	92,0
		n.s.	n.s.
Tratam	Cosecha		
E	1	93,8	94,8 b
	2	95,0	93,0 ab
	3	95,1	93,0 ab
PI	1	93,3	92,9 ab
	2	93,4	90,5 a
	3	93,5	90,6 a
SS	1	93,7	89,9 a
	2	93,5	94,1 b
	3	94,0	93,3 ab
		n.s.	***

***, ** y * indican diferencias significativas entre medias con un nivel de probabilidad del 0.1, 1 y 5% respectivamente, según el análisis de la varianza (n.s. = no significativo). Valores medios con letras diferentes son significativamente diferentes entre sí a $p < 0.05$, de acuerdo con el test de Tukey.

4.7. Efecto de los diferentes sistemas de cultivo sobre el contenido de nitrato en los frutos de pimiento

En la primera cosecha no se observaron diferencias significativas en los valores de concentración de NO_3^- en pimiento entre los sistemas PI y SS. Estos valores fueron superiores a los encontrados en E. Sin embargo en posteriores cosechas la concentración de NO_3^- fue menor en el cultivo SS y no se observaron diferencias entre la PI y el E. El tratamiento PI siempre tuvo valores superiores de contenido de nitratos en todas las cosechas (Figura 4.12).

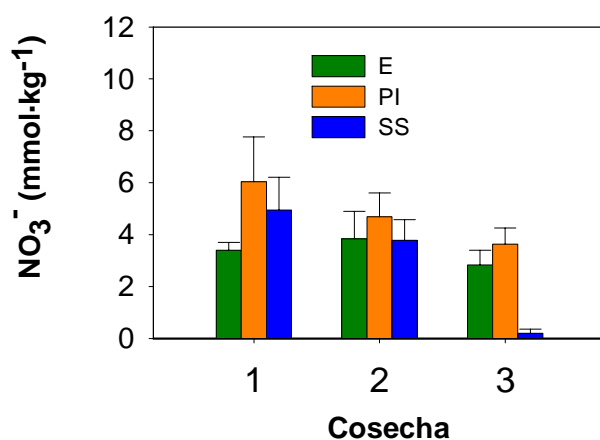


Figura 4.12. Efecto del sistema de cultivo (E, PI, SS) sobre el contenido de nitrato en frutos de pimiento. Los valores son medias \pm error estándar ($n=16$).

4.8. Efecto de los diferentes sistemas de cultivo sobre los residuos de plaguicidas en los frutos de pimiento

Los frutos procedentes del tratamiento E no presentaron residuos de plaguicidas en ningunas de las tres cosechas. Sin embargo, en los sistemas de PI y SS se detectaron residuos de plaguicidas en las tres cosechas, siendo la primera de ellas en la que se observó un número menor de compuestos, tanto en los frutos de PI como los procedentes del sistema SS (Tabla 4.10).

Tabla 4.10. *Efectos de los sistemas de cultivo (E, PI y SS) y de la cosecha sobre los residuos de plaguicidas en frutos de pimiento.*

cosecha	Sistema de Producción		
	E	PI	SS
1	n.d.	Pirimicab Buprofezín	Pirimicab Piriproxifeno
2	n.d.	Pirimicab Piriproxifeno Ciprodinil	Pirimicab Buprofezín Piriproxifeno
3	n.d.	Buprofezín Piriproxifeno Ciprodinil	Buprofezín Piriproxifeno Ciprodinil

n.d.= no detectado

5. Discusión

Existen evidencias de que el tipo de fertilización (orgánica o inorgánica) tiene un efecto sobre la calidad final del fruto (Owusu y col., 2000). Los defensores de la agricultura ecológica afirman que las hortalizas cultivadas bajo este sistema poseen una mayor proporción de materia seca, mejor sabor, mayor resistencia tras la cogida y un menor contenido en nitratos (Worthington y col., 2001). Sin embargo, los resultados de parámetros de calidad obtenidos en otros estudios comparativos son contradictorios, y los investigadores no tienen aún un criterio común sobre la conveniencia de un método de cultivo sobre otro (Woese y col., 1997). Los resultados encontrados en la bibliografía son de difícil interpretación, entre otros motivos, porque los datos de los diferentes estudios no fueron obtenidos bajo condiciones comparables de clima, áreas similares, etc. Otros autores sugieren que las diferencias en el contenido de nutrientes en frutas procedentes de la agricultura ecológica se deben a la utilización de variedades específicas y dejan poco margen a las prácticas culturales. Esta hipótesis está de acuerdo con el hallazgo de que cada fertilizante orgánico individual tiene un efecto independiente y totalmente diferente en los nutrientes (azúcares, ácidos orgánicos) de manzanas de cada variedad (DeEll y Prange, 1992).

Los estudios comparativos entre sistemas de cultivo pueden clasificarse, según Magkos y col. (2003), en tres categorías:

1. Estudios realizados sobre muestras de mercado. Este tipo de estudio es el más sencillo y rápido y refleja el producto que realmente llega al consumidor. Sin embargo, la certificación de esos productos es difícil y por tanto no pueden concluir si las diferencias encontradas son debidas al método de producción.
2. Estudios realizados en parcelas experimentales. La mayoría de los estudios disponibles en la bibliografía corresponden a esta categoría. Son estudios en los que se conoce exactamente las condiciones en las que el producto se ha cultivado y permiten identificar las diferencias en la composición nutritiva entre los diferentes sistemas. Además permiten identificar los factores

responsables de esas diferencias. Sin embargo, los resultados no pueden ser generalizados como un reflejo del sistema de cultivo.

3. Estudios realizados en parcelas comerciales. Son un reflejo de de las condiciones de cultivo reales de cada sistema de producción. Sin embargo, para conseguir que la selección de las parcelas sean un reflejo real del sistema de cultivo, deben cumplirse ciertos requisitos: el tamaño de muestra ha de ser suficientemente grande, el efecto de las condiciones medioambientales (clima, suelo, etc.) debe minimizarse mediante selección de parcelas vecinas y se deben realizar controles para asegurar el cumplimiento de las prácticas agronómicas de cada sistema.

La mayoría de los trabajos que estudian el efecto del sistema de cultivo sobre la calidad de los frutos, están centrados en las posibles diferencias existentes entre el sistema de cultivo ecológico y convencional (Lombardi-Boccia y col., 2004; Curuk y col., 2004). Sin embargo, existen muy pocos estudios en los que se comparan los sistemas de cultivo con y sin suelo. En el caso concreto del pimiento, se dispone de escasa información sobre el efecto de las prácticas culturales sobre la calidad de fruto. En este trabajo se compara la calidad nutricional, en particular la composición antioxidante, de pimiento cultivado bajo los diferentes sistemas de cultivo existentes (Agricultura Ecológica, Producción Integrada y Cultivo sin Suelo), mediante un estudio realizado en parcelas comerciales (8 invernaderos por tratamiento). El estudio se centró en una variedad de pimiento, actualmente utilizada en los tres sistemas, y se seleccionaron invernaderos dentro una misma zona geográfica, con el fin de minimizar las diferencias derivadas de las condiciones medioambientales. Las parcelas seleccionadas estaban adscritas a los diferentes sistemas de cultivo y, en el caso del sistema E, sometidas a los controles realizados por el Consejo de Agricultura Ecológica de la Región de Murcia. Además, durante el estudio se realizaron controles adicionales de residuos de plaguicidas en el fruto.

El valor de la actividad antioxidante de los frutos proporciona una medida global de los metabolitos con capacidad para reducir los daños producidos por

radicales libres (ej. radical hidroxilo, alcoxi, peroxi y anión superóxido) (Cano y col., 2000). Estos compuestos antioxidantes pueden ser clasificados en dos grandes grupos: 1) compuestos hidrosolubles, tales como la vitamina C y compuestos fenólicos simples y 2) compuestos liposolubles, tales como la vitamina E y carotenoides. En nuestro estudio, la mayor proporción de actividad antioxidante se obtuvo en la fracción hidrosoluble del fruto y estuvo significativamente correlacionada con el contenido en compuestos fenólicos y vitamina C, tanto en pimiento verde como en rojo. El efecto de los tratamientos sobre la AAH sólo se observó en frutos rojos. En este caso, los frutos bajo cultivo SS presentaron valores significativamente superiores a los encontrados en PI y estos fueron a su vez mayores que los obtenidos en el sistema E. De forma similar, el contenido en compuestos fenólicos y vitamina C aumentó con los tratamientos según el orden $E < PI < SS$.

Las diferencias encontradas en la concentración de metabolitos en frutos procedentes de Agricultura Ecológica y convencional son atribuidas, según algunos autores, a la nutrición nitrogenada. Mientras que los sistemas orgánicos dependen de la actividad del suelo para hacer que el nitrógeno esté disponible para las plantas, los sistemas convencionales utilizan fertilizantes que contienen nitrógeno que está directamente disponible para las plantas. La fácil disponibilidad de nitrógeno para las plantas puede influenciar la síntesis de metabolitos, proteínas y sólidos solubles (Chassy y col., 2006). Una elevada disponibilidad de nitrógeno inorgánico conlleva un aumento de las tasas de crecimiento y desarrollo así como un aumento de biomasa, y una disminución en la asignación de recursos a la producción de compuestos que contienen carbono, como es el caso del almidón, celulosa y los metabolitos secundarios no nitrogenados (Stamp, 2003). Sin embargo, en un estudio realizado por Flores y col. (2004), se mostró que el aumento de la concentración de NO_3^- en el medio de cultivo no afectaba a la AAH en frutos de pimiento rojo, ni a la concentración de compuestos antioxidantes hidrosolubles, como ácido ascórbico, compuestos fenólicos y azúcares reductores. Por otro lado, en este mismo estudio, se correlacionó el aumento de la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ en el medio de cultivo con un aumento de la AAH. De acuerdo con estos resultados, los frutos procedentes de SS

con valores de $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ en hoja superiores a los de PI y E (datos mostrados en un estudio anterior, presentado como PFC en la Universidad Politécnica Miguel Hernández de Orihuela bajo el título “Estudio comparativo de la calidad del pimiento (*Capsicum annum* L.) cultivado bajo diferentes sistemas de producción” presentaron valores superiores de AAH, compuestos fenólicos y ácidos orgánicos.

Entre los microconstituyentes hidrosolubles, la vitamina C es el principal componente en pimiento fresco, y en menor medida los compuestos fenólicos, por sus importantes propiedades antioxidantes, demostradas en diversos estudios (Marín y col., 2004). Los datos aportados por la bibliografía respecto al efecto del sistema de cultivo sobre el contenido en vitamina C de los frutos son controvertidos. En tomate, mientras que Lucarini y col. (1999), encontraron concentraciones significativamente más elevadas de vitamina C (expresadas en base a materia seca) en tomates orgánicos, Auclair y col. (1995) observaron lo contrario. En otro estudio de más de 6 años realizado por Fjelkner-Modig y col. (2000), no se encontraron diferencias significativas en el contenido de vitamina C, expresado en base seca, en diversas hortalizas cultivadas de modo convencional y orgánico. Por otra parte se ha observado una correlación negativa entre el contenido de vitamina C y la disponibilidad de nitrógeno en espinaca y otras hortalizas (Mozafar, 1996).

En un estudio realizado en pimiento, no se encontraron diferencias significativas en el contenido de ácido ascórbico en frutos cultivados bajo prácticas convencionales y aquellos cultivados en sistema orgánico (Svec y col., 1976). De acuerdo con estos resultados, los valores de vitamina C obtenidos en pimiento verde no se vieron afectados por el sistema de cultivo. Sin embargo, en pimiento rojo se observó un aumento de la concentración en vitamina C, paralelo al aumento de la AAH (E<PI<SS).

En lo referente a los compuestos fenólicos, está demostrado que su biosíntesis en plantas está fuertemente influenciada por la variedad (Häkkinen y Törrönen, 2000), estado de madurez, condiciones ambientales, especialmente la luz y la fertilización (Macheix y Fleuriot, 1990). En un reciente estudio sobre constituyentes

antioxidante en pimiento cultivado bajo manejo orgánico y convencional se concluyó que el sistema de cultivo no afectaba al contenido en compuestos fenólicos (Chassy y col., 2006). Nuestros resultados difieren de los encontrados por estos autores, ya que tanto en pimiento verde como en rojo, el sistema de cultivo E presentó concentraciones de compuestos fenólicos en fruto inferiores a la PI y el sistema SS, excepto en pimiento rojo durante la última cosecha.

En otros estudios, se han observado mayores concentraciones de constituyentes antioxidantes como vitamina C y polifenoles en los frutos procedentes del cultivo orgánico cuando éstos fueron expresados en base al peso fresco, aunque no se observó un efecto significativo del sistema de cultivo al expresarlos en base a la materia seca (Caris-Veirat y col., 2004). Este fenómeno parece tener su explicación en que los productos procedentes de la agricultura convencional tienen un mayor contenido de agua, por lo que existe una mayor dilución de los nutrientes que en el caso de los productos ecológicos. En nuestro estudio, el contenido en agua de los frutos procedentes del tratamiento E fueron, en general superiores a los de los frutos de PI y SS, lo que explicaría en parte los resultados obtenidos.

La actividad antioxidante de la fracción liposoluble (AAL) de pimiento estuvo significativamente correlacionada con la concentración de clorofila en fruto verde y con la concentración de β -carotenos en fruto rojo. A su vez, la AAL en pimiento rojo fue aproximadamente un 100% superior a la del verde. En pimiento, los principales constituyentes antioxidantes liposolubles son los carotenoides, principalmente el β -caroteno o provitamina A (Marín y col., 2004). Estos están potencialmente implicados en la protección contra enfermedades degenerativas (Agarwal y col., 2000).

Existe escasa información sobre el efecto del sistema de cultivo sobre el contenido en carotenoides en pimiento. En diversos estudios donde el contenido de carotenos fue estimado en zanahorias cultivadas en sistemas convencional y orgánico, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para la concentración de carotenos. Otros han encontrado concentraciones

significativamente más altas (Leclerc y col., 1991) y también más bajas (Clarke y Merrow, 1979) en zanahorias cultivadas bajo sistema orgánico respecto a las cultivadas con prácticas convencionales. Se piensa que el contenido en β -caroteno en zanahoria presenta niveles más altos tras la aplicación de una determinada cantidad de fertilizante convencional que tras la aplicación de una cantidad equivalente de fertilizante orgánico (Bourn, 1994). Los resultados obtenidos en tomate son también contradictorios y están significativamente influenciados por otros factores distintos al sistema de cultivo, como la exposición a la luz y la temperatura (Abushita y col., 2000), el estado de madurez (Cabibel, y col., 1980) y la variedad (Caris-Veirat y col., 2004). La variabilidad obtenida en el contenido de carotenos totales en pimiento a lo largo del ciclo de cultivo, puso de manifiesto que la cosecha influyó sobre la concentración de estos compuestos en mayor medida que el sistema de cultivo.

Respecto al contenido de azúcares solubles, el sistema de cultivo más favorable fue la PI. Aunque en fruto verde no se observaron diferencias entre sistemas en el contenido de los azúcares mayoritarios (glucosa y fructosa), el contenido en sacarosa fue superior en PI respecto a los sistemas E y SS. En fruto rojo, aumentó la concentración de glucosa y fructosa, a expensas de una disminución en el contenido de sacarosa. En este estado de maduración, el sistema E presentó los valores más bajos de glucosa y fructosa, mientras que los valores máximos correspondieron a la PI.

6. Conclusiones

CONCLUSIONES

1. La actividad antioxidante de la fracción hidrosoluble (AAH) representó la mayor parte de la capacidad antioxidante del fruto, independientemente del sistema de cultivo y del estado de maduración.
2. La concentración de la mayoría de los compuestos con actividad antioxidante fue mayor en pimiento rojo que en verde, a excepción del ácido málico.
3. La AAH estuvo significativamente correlacionada con la concentración de compuestos fenólicos y ácidos orgánicos. La actividad antioxidante de la fracción lipofílica (AAL) estuvo significativamente correlacionada con la concentración de clorofilas en pimiento verde y con la β -caroteno en pimiento rojo. Tanto la AAH como la AAL fueron mucho mayores en pimiento rojo que en pimiento verde.
4. El efecto del sistema de cultivo sobre la capacidad antioxidante fue diferente según la fracción estudiada. Mientras que en la fracción hidrosoluble la actividad aumentó según el orden E<PI<SS, en la fracción liposoluble la mayor actividad antioxidante la representó el sistema E seguido de la PI y por último el sistema SS.
5. El momento de la recolección, dentro del ciclo cultivo, afectó a la mayoría de los compuestos antioxidantes en mayor proporción que el sistema de cultivo elegido. Además, el efecto del sistema varió según el estado de maduración estudiado. Por tanto se concluye que factores ajenos a las prácticas culturales como son las condiciones medioambientales, la edad de la planta y la maduración de los frutos, tiene una mayor influencia sobre la composición antioxidante del fruto de pimiento que el sistema de cultivo adoptado.
6. El tratamiento E resulta ventajoso respecto a PI y SS en cuanto al contenido de nitrato y residuos de plaguicidas en los frutos. El contenido de nitratos fue inferior en los frutos procedentes del tratamiento E salvo en la última

cosecha, donde los frutos procedentes del tratamiento SS presentaron valores menores debido a que la recolección coincidió con el fin del cultivo en el que ya no se fertilizaba. Así mismo, no se detectaron plaguicidas en los frutos procedentes del sistema E en ninguna de las cosechas.

7. Bibliografía

- Abushita, A. A., Daood, H.G., Biacs, P.A. 2000. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *J. Agric. Food Chem.* 48, 2075-2081.
- Agarwal, S., Rao, A.V. 2000. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Can. Med. Assoc. J.* 163, 739-744.
- Alarcón Vera, A.L. 2002. Manejo de la solución nutritiva y diagnóstico en cultivos sin suelo. *Vida Rural* 148, 48-54.
- Artés, F. y Escriche, A. 1983. Physiological aspects on the maturation and ripening of "Lamuyo" pepper. *Acta Horticulturae* 138: 313-319.
- Auclair, L., Zee, J.A., Rochat, E. (1995). Valeur nutritive, qualité organoleptique et productivité des tomates de serre en fonction de leur mode de production : Biologique conventionnel hydroponique. *Sci. Aliments.*, 15, 511-528.
- Avilla, J. 2000. La producción integrada en Europa. *Frut. Profesional*, 112: 7-9.
- Boller, E.F. 1999. El concepto de la OILB de protección y producción integrada. 6º Symposium nacional de sanidad vegetal, Sevilla, 15-23.
- Bourn, D.M. 1994. The nutritional value of organically and conventionally grown food, is there any difference? *Proc. Nutr. Soc. NZ.* 19, 51-57.
- Bourn, D., Prescott, J. 2002. A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 42, 1-34.
- Cabibel, M., Ferry, P. 1980 Evolution de la teneur en caroténoïdes de la tomate en fonction des stades de maturation et des conditions culturales. *Ann. Technol. Agric.* 29, 27-45.

- Chassy, A.W., Bui, L., Renaud, E.N.C., Van Horn, M., Mitchel, A. 2006. Three year comparison of the content of antioxidant microconstituents and several quality characteristics in organic and conventionally managed tomatoes and bell peppers. *J. Agric. Food Chem.* 54, 8244-8252.
- Checa, J. 2001. Horticultura hidropónica en España. <http://www.rockwool.pl/sw649.asp>
- Clarke, R.P., Merrows, S.B. 1979. Nutrition composition of tomatoes homegrown under different cultural procedures. *Ecol. Food nutr.* 8, 37-46.
- Coscollá, R. 2004. Introducción a la protección integrada. M.V. Phytoma-España S.L.
- Cano, A., Acosta, M., Arnao, M.B. 2000. A method to measure antioxidant activity in organic media: application to lipophilic vitamins. *Redox. Report* 5 (6): 365-370.
- Caris-Veyrat, C., Amiot, M., Tyssandier, V., Grasselly D., Buret, M., Mikolajczak, M., Guillard, J.C., Bouteloup-Demange, C., Borel, P. 2004. Influence of organic versus conventional Agricultural Practice on the antioxidant Microconstituent Content of the tomatoes and derived Purees ; Consequences on antioxidant Plasma Status in Humans. *J. Agric. Food Chem.* 52 (21): 6503-6509.
- Cayuela, J.A., Vidueira, J.M., Albi, M.A., Gutierrez F. 1997. Influence of the ecological Cultivation of strawberries on the quality of the fruit and their capacity of conservation. *J. Agric. Food Chem.* 45, 1736-1740.
- Curuk S., Sermenli T., Mavi K., Evrendilek F. 2004. Yield and fruit quality of watermelon (*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum. & Nakai.) and melon (*Cucumis melo* L.) under protected organic and conventional farming systems in a Mediterranean region of Turkey. *Biol. Agric. Hort.* 22 (2): 173-183

- DeeEll, J.R., Prange, R.K. 1992. Postharvest physiological quality and sensory attributes of organically grown apples. *Hortscience* 27, 1096-1099.
- Eppendorfer, W.H., Eggum, B.O. 1996. Fertilizer effects on yield, mineral and amino acid composition, dietary fibre content and nutritive value of leeks. *Plant Foods Hum. Nutr* 49, 163-174.
- Eppendorfer, W. H., Eggum, B.O., Bille, S. V. 1998. Nutritive value of potato crude protein as influenced by manuring and amino acid composition. *J. Sci. Food Agric.* 30, 361-368.
- Fanh, A. 1985. Plant anatomy. Third edition. Pergamon Press, Oxford.
- Fjelkner-Modig, S., Bengtsson, H., Stegmark, R., Nystrom, S. 2000. The influence of organic and integrated production on nutritional, sensory and agricultural aspects of vegetable raw materials for food production. *Acta Agric. Scand. B. Soil Plant Sci.* 50, 102-113.
- Flores, P., Navarro, J. M., Garrido, C., Rubio, J.S., Martinez, V. 2004. Influence of Ca^{2+} , K^+ and NO_3^- fertilization on nutritional quality of pepper. *J. Sci. Food Agric.* 84, 569-574.
- Grubben, G.J.H. 1977. Tropical Vegetables and Their Genetic Resources. IBPGR. Roma.
- Häkkinen, S.H., Törrönen, A.R. 2000. Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and *Vaccinium* species: influence of cultivar, cultivation site and technique. *Food Res. Int.* 33, 517-524.
- Izco J., Barreno E., Brugués M., Costa M., Devesa J., Fernández F., Gallardo T., Llimona X., Salvo E., Talavera S., Valdés B. (1997). Botánica. Mc Graw-Hill.

Kader, A.A.; Kasmire, R.F.; Mitchel F.G.; Somer, N.F. y Thompson, J.F. 1985. Postharvest technology of Horticultural Crops 1st. ed. Cooperative Extension. University of California. Special publication 3311.

Kumpulainen, J. 2001. Organic and conventional grown foodstuffs: nutritional and toxicological quality comparisons. *Proc. Int. Fert. Soc.* 472, 1-20.

Lecerf, J. 1995. L'agriculture biologique. Interet en nutrition humaine? *Cah. Nut. Diet.* 30, 349-357.

Leclerc, J., Miller M.L., Joliet, E., Rocquelin G. 1991. Vitamin mineral contents of carrot and celeriac grown under mineral or organic fertilization. *Biol. Agric. Hort.* 7, 339-348.

Lombardi-Boccia G, Lucarini M, Lanzi S, Aguzzi A, Cappelloni M. 2004. Nutrients and antioxidant molecules in yellow plums (*Prunus domestica* L.) from conventional and organic productions: A comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52 (1): 90-94 14.

Lucarini, M., Carbonaro, M., Nicoli, S., Aguzzi, A., Cappelloni, M., Ruggeri, S., Di Lullo, G., Gambelli, L., Carnovale, E. 1999. Agri-Food Quality Management of Fruits and Vegetables, Turku, Finland, Hagg, M., Ahvenainen, R., Evers, A. M., Tiilikkala., Eds., Royal Society of Chemistry: Cambridge, U.K., pp 306-310.

Macheix, J. J., Feuriet, A., Billot, J. 1990. Fruit Phenolics; CRC Press: Boca Raton, p 378.

Magkos, F., Arvantini, F., Zampelas A. 2003. Organic Food: nutritious food or food for thought? A review of the evidence. *Int. J. of Food Sci. Nutr.* 54 (5): 357-371

MAPYA. Secretaria General de Agricultura y Alimentación. 2005. Estadísticas de Producción integrada en España.

Marin, A., Ferreres, F., Tomas-Barberan F.A. 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) *J. Agric. Food Chem* 52 (12): 3861-3869.

Maroto Borrego, J.V. 1992. Horticultura herbácea especial. Mundi-Prensa 3ª ed.

Matallana, A., Montero, J.I. 1989. Invernaderos: diseño construcción y ambientación. Ed Mundi-prensa. Madrid.

Monserrat, A., Lacasa, A., Vicente, F. 2005. Normas técnicas de producción integrada en pimiento bajo invernadero. Consejería de Agricultura y Agua. Región de Murcia.

Mozafart, A., 1996. Decreasing the NO₃ and increasing of vitamin C contents in spinach by a nitrogen deprivation method. *Plant Foods Hum. Nutr* 49, 155-162.

Namesny, A., 1996. El pimiento en el mundo. En: Pimientos. Compendios de Horticultura 9. Ediciones de Horticultura, S.L. Reus (España). pp. 13-19

Namesny, A. 1999. Postrecolección de hortalizas. Vol. III. Hortalizas de fruto. Ed. Horticultura. Reus, Tarragona.

Navarro G., Navarro S. 2000. Química agrícola, El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Mundi-prensa.

Nuez F., Gil R., Costa J. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Mundi-prensa.

Olympios, C.M. 1993. Soilles media under protected cultivation rockwool, peat, perlite and other substrates. *Acta Horticulturae* 323: 215-234.

- Owusu E.O., Nkansah G.O. y Dennis E.A. 2000. Effect of sources of nitrogen on growth and yield of hot pepper (*Capsicum frutescens*). *Tropical Science* 40: 58-62
- Pierna Inistta, E., Díaz Gil, R.V. 2001. Recirculación de soluciones nutritivas en cultivos sin suelo. *Vida Rural* 846: 246-250.
- Pochard, E. 1996. Données expérimentales sur la selection du piment (*Capsicum annum* L.). *An. Am. Plantes* 16(2) :185-197.
- Rabinowitch, H.D.; Friedman, M y Ben-Dvid, B. 1983. Suncald damage in attachedand detached pepper and cucumber fruit at various stages of maturity. *Sci. Hortic. Amsterdam* 19: 9-18.
- Rico, J. 1983. Cultivo del pimiento de carne gruesa en invernadero. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Rodriguez-Kábana, R., Morgan-Jones, G. y Chet. I. 1987. Biological control of nematodos: soil amendments and microbial antagonists. *Agric. Téc.* 62(3):357-365
- Schuphan, W. 1974. Nutritional value of crops as influenced by organic and inorganic fertilizer treatments. *Plant Foods Hum. Nutr.* 23, 333-358.
- Snowdon, A. 1990. A colour atlas of postharvest diseases and disorders of fruit and vegetables. *Food Technol.* 40(5): 70-80.
- Stamp, N. E., 2003. Out of the quagmire of plant defense hypotheses. *Q. Rev. Biol.* 78, 23-55.
- Svec. L.v., Thoroughgood, C. A., Mok H. C. S., 1976. Chemical evolution of vegetables grown with conventional or organic soil amendments. *Soil Sci. Plant.* 7, 213-228.
- Urrestarazu, M. 2004. Tratado del cultivo sin suelo. Mundi-prensa

Warman, P.R., Havard, K.A., 1996. Yield, vitamin and mineral content of four vegetables grown with either composted manure or conventional fertilizer. *J.Veg. Crop Prod.* 2, 13-25.

Warman, P.R., Havard, K.A., 1996. Yield, vitamin and mineral content of organically and conventionally grown potatoes and sweet corn. *Agric. Ecosyst. Environ.* 68, 207-216.

Wawrzyniak, A., Kwiatkowski, S., Gronowska-Senger, A., 1997. Evaluation of nitrate, nitrite and total protein content in selected vegetables cultivated conventionally and ecologically. *Rocz. Panstw. Zakl. Hig* 48, 179-186.

Woese, K., Lange, D., Boess, C., Bogl, K.W. 1997. A comparison of organically and conventionally grown foods - Results of a review of the relevant literature. *J. Sci. Food Agr.* 74 (3): 281-293

Worthington, V. 1998. Effect of agricultural methods on nutritional quality: A comparison of organic with conventional crops. *Altern. Ther. Health M.* 4 (1): 58-69

Worthington, V. 2001. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *J. Altern. Complem. Med.* 7, 161-173.

Zapata, M., Bañon, S., Cabrera P. 1992. El pimiento para pimentón. Mundi-prensa.

www.carm.es/cagric/

www.infoagro.es

www.mapa.es

www.fertiberia.es

