

TRABAJO FIN DE GRADO

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA
INTENSIDAD DE MALLAS FOTOSELECTIVAS
EN CULTIVO SIN SUELO**

Mención: HORTOFRUTICULTURA Y JARDINERÍA

Modalidad: Proyecto técnico-experimental

Curso 2019/2020

Alumno/a:

Carmen María Barrera Alarcón

Director/es:

Miguel Urrestarazu Gavilán

Grado en Ingeniería Agrícola



AGRADECIMIENTOS

A mi familia que ha sido un apoyo constante y me animó hasta el final de este proyecto.

Y en especial a ti porque sé que te hubiera hecho mucha ilusión vivir este momento aunque de alguna forma estás presente.

Gracias a todos aquellos que en algún momento han formado parte de este trabajo.

ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL

1. INTERÉS Y OBJETIVOS	8
1.1. INTERÉS.....	8
1.2. OBJETIVOS.....	8
2. FASES DE LA REALIZACIÓN DEL TFG (CRONOGRAMA).....	9
2.1. FASE 1	9
2.2. FASE 2	9
3. COMPETENCIAS INTEGRADAS EN EL PROYECTO	10
3.1. CONOCIMIENTO DE LAS BASES Y FUNDAMENTOS BIOLÓGICOS DEL ÁMBITO VEGETAL EN LA INGENIERÍA	10
3.2. CAPACIDAD PARA CONOCER, COMPRENDER Y UTILIZAR LOS PRINCIPIOS DE: Transferencia de tecnología, entender, interpretar, comunicar y adoptar los avances en el campo agrario	10
3.3. CAPACIDAD PARA CONOCER, COMPRENDER Y UTILIZAR LOS PRINCIPIOS DE TECNOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN HORTOFRUTÍCOLA: Bases y tecnología de la propagación y producción hortícola, frutícola y ornamental. Control de calidad de productos hortofrutícolas. Comercialización. Genética y mejora vegetal.....	11
3.4. CAPACIDAD PARA CONOCER, COMPRENDER Y UTILIZAR LOS PRINCIPIOS DE MATERIAL VEGETAL: producción, uso y mantenimiento.	11
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
4.1. CULTIVO DE PIMIENTO	11
4.1.1. Origen.....	11
4.1.2. Taxonomía y morfología.....	12
4.1.3. Descripción botánica.....	13
4.1.4. Etapas de desarrollo del cultivo de pimiento	14
4.1.5. Importancia del cultivo del pimiento	15
4.1.6. Condiciones agroclimáticas para pimiento	17
4.2. CULTIVO DE BERENJENA	19
4.2.1. Origen.....	19
4.2.2. Taxonomía y morfología.....	20
4.2.3. Descripción botánica.....	21
4.2.4. Etapas de desarrollo del cultivo de berenjena	23

4.2.5.	Importancia del cultivo de la berenjena	25
4.2.6.	Condiciones agroclimáticas para berenjena	26
4.3.	CULTIVO DE LECHUGA	28
4.3.1.	Origen.....	28
4.3.2.	Taxonomía y morfología.....	29
4.3.3.	Descripción botánica.....	29
4.3.4.	Variedades de lechuga.....	31
4.3.5.	Etapas de desarrollo del cultivo de la lechuga	32
4.3.6.	Calidad de la lechuga	34
4.3.7.	Importancia del cultivo de la lechuga	34
4.3.8.	Condiciones agroclimáticas para lechuga	36
4.4.	CULTIVO SIN SUELO	37
4.4.1.	Concepto de cultivo sin suelo.....	37
4.4.2.	Antecedentes y evolución del cultivo sin suelo	38
4.4.3.	Clasificación de los cultivos sin suelo.....	39
4.4.4.	Los sustratos de cultivo. Definición y clasificación.....	40
4.4.5.	Sistema de cultivo en fibra de coco (“COCNUT FIBER”).....	42
4.5.	RADIACIÓN SOLAR.....	44
4.5.1.	Conceptos básicos	44
4.5.2.	Radiación solar en invernaderos	45
4.5.3.	Efecto de la radiación en pimiento, berenjena y lechuga.....	47
4.6.	MALLAS FOTOSELECTIVAS	50
5.	MATERIAL Y MÉTODOS	53
5.1.	DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES	53
5.1.1.	Localización del experimento	53
5.1.2.	Tipo y dimensión.....	53
5.2.	MATERIAL VEGETAL Y DISTRIBUCIÓN	55
5.3.	PARÁMETROS DE ESTUDIO	57
5.3.1.	Limpieza y corte de plántulas.....	58
5.3.2.	Evaluación de los parámetros de crecimiento	58
5.3.3.	Tratamiento de los resultados.....	58
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58

6.1.	EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE PIMIENTO BAJO PRODUCCIÓN EN MALLAS FOTOSELECTIVAS	58
6.2.	EVALUACIÓN DE BERENJENA BAJO PRODUCCIÓN EN MALLAS FOTOSELECTIVAS.....	61
6.3.	EVALUACIÓN DE LECHUGA BAJO PRODUCCIÓN EN MALLAS FOTOSELECTIVAS.....	64
7.	CONCLUSIONES	68
8.	BIBLIOGRAFÍA	69

ÍNDICE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Requerimientos térmicos (° C) para la planta de pimiento	17
Figura 1. Detalle de la estructura de la malla sombra	54
Figura 2. Detalle de la cubierta de la malla sombra	55
Figura 3. Detalle de las macetas de 0,5 L empleadas en el ensayo	56
Figura 4. Bloqueo por especie y color de malla	56
Figura 5. Distribución dentro de la casa sombra	57
Tabla 2. Parámetros de crecimiento de peso fresco (g/m ²) de malla de pimiento en función de su color.	59
Figura 6. Peso fresco de los órganos de planta de pimiento.....	59
Figura 7. Peso seco de los órganos de planta de pimiento	61
Tabla 4. Parámetros de crecimiento de peso fresco (g/m ²) de malla de berenjena en función de su color.	62
Figura 8. Peso fresco de los órganos de planta de berenjena	62
Tabla 5. Parámetros de crecimiento de peso seco (g/m ²) de malla de berenjena en función de su color.	63
Figura 9. Peso seco de los órganos de planta de berenjena.....	64
Tabla 6. Parámetros de crecimiento de peso fresco (g/m ²) de malla de lechuga en función de su color.	65
Figura 10. Peso fresco de los órganos de planta de lechuga	65
Tabla 7. Parámetros de crecimiento de peso seco (g/m ²) de malla de lechuga en función de su color.	66
Figura 11. Peso seco de los órganos de planta de lechuga	67

1. INTERÉS Y OBJETIVOS

1.1. INTERÉS

El objetivo de la malla sombra no debe ser sólo reducir la cantidad de luz y/o evitar el exceso de temperatura, sino también desplegar propiedades fotométricas especiales para mejorar el aprovechamiento de la radiación solar (Ayala, 2012).

Las mallas sombra causan distintos efectos sobre el microclima de los invernaderos afectando directamente a factores como la radiación, la fotoselectividad, la humedad relativa, la temperatura y el movimiento del aire, que inciden dentro de estas estructuras (Intagri, 2017).

Recientemente se han desarrollado mallas plásticas con propiedades ópticas especiales, las cuales representan un nuevo enfoque para mejorar el uso de la radiación solar en los cultivos agrícolas (Ganelevin, 2008). El uso de mallas sombra de colores se han estado empleando para manipular el crecimiento y desarrollo de los cultivos debido a que fomentan un incremento en el rendimiento comercial, disminución de desórdenes fisiológicos y respuestas fisiológicas relacionadas al tamaño, peso, color, amarre y momento de cosecha (Intagri, 2017).

Los resultados que se obtengan del experimento van a poder establecer las bases para determinar cuál es el color de la malla sombra más adecuada para obtener un efecto favorable sobre la fisiología y crecimiento de cada especie hortícola, lo que se traducirá en un aumento de ramificación, número de flores, producción, calidad de fruto, etc.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo es la evaluación del crecimiento y desarrollo de plantas de lechuga, pimiento y berenjena en cultivo sin suelo en los espectros de tres mallas fotoselectivas verde, negra y blanca. El trabajo permitirá conocer comparativamente qué color de malla de sombreo es la más adecuada para la producción de cada especie. Para alcanzar el objetivo general, se plantean como objetivos específicos la valoración de distintos parámetros de crecimiento y peso en fase de plántulas de cada una de las especies.

2. FASES DE LA REALIZACIÓN DEL TFG (CRONOGRAMA)

	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
	FASE 1				FASE 2				
Planificación del ensayo									
Construcción de mallas sombra									
Trasplante del cultivo									
Toma de datos parámetros de crecimiento									
Análisis estadístico de datos									
Revisión bibliográfica									
Discusión									
Conclusiones									
Revisión de los tutores									
Entrega del TFG									
Defensa TFG									

2.1. FASE 1

La primera parte del experimento consistió en la construcción de las nueve mallas sombra de colores y colocación de las macetas con diferentes especies de cultivo para su desarrollo.

2.2. FASE 2

Evaluación de los parámetros de crecimiento de las plantas de las distintas especies de cultivo cuando alcanzaron 30 días de desarrollo, se tomó como indicador de corte cuando las plantas se entrelazaban entre ellas.

3. COMPETENCIAS INTEGRADAS EN EL PROYECTO

Para el desarrollo del proyecto se han integrado las siguientes competencias de tecnologías específicas adquiridas en las enseñanzas de la titulación de Ingeniería Agrícola:

3.1. CONOCIMIENTO DE LAS BASES Y FUNDAMENTOS BIOLÓGICOS DEL ÁMBITO VEGETAL EN LA INGENIERÍA

A través de este proyecto se conoce la etapa inicial de los cultivos de pimiento, berenjena y lechuga desde su trasplante identificando el sistema radical, tallo y hojas, distintas en cada cultivo y como se desarrollan cada una de las especies hasta la siguiente etapa de floración.

3.2. CAPACIDAD PARA CONOCER, COMPRENDER Y UTILIZAR LOS PRINCIPIOS DE: Transferencia de tecnología, entender, interpretar, comunicar y adoptar los avances en el campo agrario.

Con el sustrato elegido para el proyecto, fibra de coco, se conoce otro medio de cultivo diferente al suelo en el que las plantas completan su ciclo vegetativo. El sistema de cultivo sin suelo fue un avance del mundo agrario y surgió como necesidad de cambiar la tierra para evitar problemas de estructura, fertilidad y enfermedades.

Las mallas fotoselectivas son una alternativa eficaz al encalado de las cubiertas de los invernaderos que se usaba como único método de control de la radiación solar dando como resultado una importante reducción de la temperatura. Las mallas causan diferentes efectos que afectan directamente a factores como la humedad relativa, la temperatura y la radiación.

3.3. CAPACIDAD PARA CONOCER, COMPRENDER Y UTILIZAR LOS PRINCIPIOS DE TECNOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN HORTOFRUTÍCOLA: Bases y tecnología de la propagación y producción hortícola, frutícola y ornamental. Control de calidad de productos hortofrutícolas. Comercialización. Genética y mejora vegetal.

Reconocimiento de varias especies vegetales en el momento de trasplante diferenciando el sistema radical desarrollado en semillero y la parte aérea de la planta así como cada una de sus partes.

3.4. CAPACIDAD PARA CONOCER, COMPRENDER Y UTILIZAR LOS PRINCIPIOS DE MATERIAL VEGETAL: producción, uso y mantenimiento.

En este proyecto he conocido el crecimiento de diferentes especies vegetales, pimiento, lechuga y berenjena en la primera etapa de desarrollo, y su manejo de cultivo mediante la fertilización, el riego y como afecta el uso de distintas mallas sobre el microclima de las plantas.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. CULTIVO DE PIMIENTO

4.1.1. Origen

El pimiento, *Capsicum annuum* L., es originario de América del Sur, de la zona de Bolivia y Perú; su cultivo se encuentra hoy en día prácticamente extendido en todas las zonas templadas y cálidas del mundo. En la actualidad casi la mitad del pimiento se produce en el área mediterráneo (Namesny, 1996). Su introducción en Europa y consecuentemente en África y Asia ha sido históricamente asociada al viaje de Colón a las Américas (Heiser, 1976).

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

4.1.2. Taxonomía y morfología

División: *Spermatophyta*

Línea XIV: *Angiospermae*

Clase A: *Dicotyledones*

Rama 2: *Malvales-Tubiflorae*

Orden XXI: *Solanales (Personatae)*

Familia: *Solanaceae*

Género: *Capsicum*

Especie: *annuum* L.

(Nuez *et al.*, 1996)

La familia *Solanaceae* está formada por unos 90 géneros, los cuales se encuentran divididos, a su vez, en dos subfamilias: *Solanoideae* y *Cestroideae*. La principal diferencia entre ambas, además de otras diferencias morfológicas, químicas y citogenéticas, reside en que la familia *Solanoideae* presenta un embrión que se encuentra enrollado y de un diámetro más o menos uniforme mientras que la *Cestroideae* tiene un embrión típicamente recto o ligeramente curvado (Nuez *et al.*, 1996).

Capsicum pertenece a la tribu más grande de la subfamilia *Solanoideae*, la tribu *Solaneae*. Esta tribu contiene alrededor de 1.250 especies encuadradas en 18 géneros.

La taxonomía del género *Capsicum* es compleja, debido a la gran variabilidad de formas existentes en las especies cultivadas y a la diversidad de criterios utilizados en la clasificación (Nuez *et al.*, 1996).

En el género *Capsicum* se encuentran 23 especies reconocidas, de las cuales sólo 5 son cultivadas: *C. annum*, *C. baccatum*, *C. frutescens*, *C. pubescens* y *C. chinense*,

siendo *Capsicum annuum* L. la más importante y difundida (Milla, 1996; Dewitt, Bosland, 1996).

4.1.3. Descripción botánica

Raíz

El pimiento consta de una raíz axonomorfa de la que se ramifica un conjunto de raíces laterales. La raíz principal es pivotante y cultivado en suelo alcanza profundidades de 0.5 a 1.25 m; tiene muchas raíces adventicias que en sentido horizontal pueden alcanzar de 0.5 a 1.0 m (Serrano, 1978).

Tallo

La planta de pimiento es herbácea y anual, aunque puede rebrotar si se le hace una poda antes de que finalice su periodo vegetativo (Serrano, 1996). Presenta tallos ramosos que parten de un tallo principal que se ramifica entre los 10 a 40 cm (según la variedad) en dos o tres ramas que a su vez se bifurcan de forma dicotómica (Nuez *et al.*, 1996). En esta estructura se insertan las hojas y yemas que darán lugar a los tallos secundarios. Los frutos se insertan en las ramas principales y más tardíamente, en las ramas secundarias, siendo los primeros de mayor calibre y mejor formados (Camacho, 2003).

La altura media que alcanzan las plantas depende de la variedad y la postura, temprana o más tardía, oscilando entre 0.5 y 2 m. Los tallos del pimiento son muy frágiles y se parten a la menor presión por lo que es necesario colocar tutores cuando se cultiva en invernadero (Serrano, 1996).

Hojas

El pimiento tiene hojas simples, lampiñas, de forma lanceolada o obovada con ápice muy pronunciado, formadas por el peciolo largo, que une la hoja con el tallo y la lámina foliar o limbo. En el pimiento se presenta una venación reticulada, la vena mayor divide a la hoja en dos regiones simétricas y forma la vena central o principal (Nuez *et al.*, 1996).

Flor

El pimiento posee flores hermafroditas (autógama). Las flores están unidas al tallo por un pedúnculo o pedicelo de 10 a 20 mm de longitud, con 5 a 8 costillas. Cada flor está constituida por un eje o receptáculo y apéndices foliares que constituyen las partes florales. Estas son: el cáliz, constituido por 5 a 8 sépalos, la corola formada por 5 a 8 pétalos, el androceo por 5 a 8 estambres y el gineceo por 2 ó 4 carpelos (Nuez *et al.*, 1996).

No se produce la floración hasta que la planta tiene un cierto grado de madurez que se consigue aproximadamente cuando la planta presenta alrededor de 10 hojas (Serrano, 1996; Camacho, 2003).

Fruto

El fruto de pimiento botánicamente se define como una baya, hueca, con forma de cápsula. Está constituida por un pericarpio grueso y jugoso, un tejido placentario al que se unen las semillas, con una estructura de superficie tersa, hueca, voluminosa, llena de aire y con forma de cápsula, aunque ésta, el tamaño y otras características están en función de la variedad (Nuez *et al.*, 1996).

Semilla

Las semillas de pimiento son redondeadas y ligeramente reniformes, suelen tener de 3 a 5 mm de longitud, se insertan sobre una placenta cónica de disposición central, y son de color amarillo pálido. Un gramo de semilla puede contener entre 120 y 200 semillas y la pureza debe ser de un 98% y la germinación debe estar en torno a un 70% para tener una adecuada calidad fisiológica de las semillas (Delgado, 1999; Carrillo, 2016).

4.1.4. Etapas de desarrollo del cultivo de pimiento

Trasplante

Se enfoca en el desarrollo de un fuerte sistema radical y la formación inicial de las partes aéreas de la planta.

Crecimiento vegetativo

Ocurre en los primeros 40-45 días. Este periodo finaliza cuando comienza el desarrollo de los frutos.

Floración y fructificación

La floración y el cuajado empiezan alrededor de 20-40 días después del trasplante y continúan durante el resto del ciclo de crecimiento.

Desarrollo del fruto

Después de la floración y del cuajado de los frutos, estos empiezan a desarrollarse y a crecer, y se logra en este periodo la mayor acumulación de materia seca en la fruta, a un ritmo relativamente estable.

Madurez fisiológica y cosecha

En promedio, se logra la madurez de fruta a los 80 días después del trasplante. La cosecha continúa permanentemente, a menos que se detenga por razones climáticas (heladas) o por razones económicas (precio del pimiento) (Berríos *et al.*, 2007).

4.1.5. Importancia del cultivo del pimiento

Las expediciones al Nuevo Mundo, a finales de siglo XV e inicio del XVI, permitieron la introducción del género *Capsicum*, por navegantes españoles y portugueses en Europa, inicialmente en áreas del Mediterráneo, de climas templados y cálidos, expandiéndose posteriormente a África, América del Norte, Indias, China y Oceanía (Milla, 1996).

El pimiento es un cultivo con tres principales destinos de consumo: pimiento en fresco, para pimentón y para conserva. 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 (López-Marín *et al.*, 2013).

En España, el pimiento es uno de los cultivos hortícolas más importantes, según la FAO la superficie cultivada en la campaña 2018-2019 fue de 14.486 ha (FAO, 2019). La producción temprana (otoño-invierno) de pimiento en España se localiza principalmente en Almería, Murcia y Alicante. El pimiento en la provincia de Almería es el segundo cultivo más importante, con 11.115 ha de invernaderos y una producción de 845.855 toneladas (FAO, 2019).

El cultivo de pimiento registró uno de los mayores crecimientos de superficie respecto a la campaña precedente 2017-2018 (+10%) según los datos consultados en el Observatorio de Precios y Mercados de la Junta de Andalucía.

Según un informe emitido por el citado organismo, la producción de pimiento en la provincia almeriense en la campaña 2018/2019 aumentó un 15% causado tanto por el aumento de la superficie de cultivo como por una mejora de los rendimientos. Del volumen total producido se comercializaron 803'31 millones de kilos por un valor de 618'7 millones de euros, con el cuarto precio más alto de la década, 0'77 euros por kilo.

Las fechas de plantación son entre julio y agosto para Almería y entre noviembre y diciembre para Murcia y Alicante. Entre ambas zonas, la recolección se extiende durante casi todo el año. En Almería la recolección comienza en octubre y finaliza entre marzo y abril del año siguiente incluso hasta junio. En Murcia y Alicante el periodo de recolección se extiende entre marzo y abril hasta agosto y septiembre (Gamayo, 1996).

Según datos del Observatorio de Precios y Mercados de la Junta de Andalucía en la campaña en la campaña 2018/2019 las exportaciones se incrementaron un 7% en volumen y un 18% en valor respecto a la pasada campaña confirmando la buena demanda del producto almeriense en los mercados internacionales. Alemania, Países Bajos, Reino Unido y Francia son los principales destinos en volumen y valor del pimiento almeriense.

4.1.6. Condiciones agroclimáticas para pimiento

Temperatura

El pimiento es un cultivo muy exigente en temperatura. Su desarrollo óptimo se produce con medias mensuales entre los 18 y los 22° C. A temperaturas inferiores, el desarrollo vegetativo se ralentiza, mientras a temperaturas superiores puede vegetar en exceso disminuyendo lo que disminuye la producción, si no se equilibran las temperaturas con factores como la luminosidad y la humedad (Serrano, 1996). Es capaz de soportar las temperaturas altas siempre que la humedad ambiental también lo sea, perjudicando así la producción pudiendo aumentar la proporción de frutos pequeños, coloración deficiente y la aparición de podredumbre apical en los mismos.

En las plantaciones tempranas, un exceso de temperatura implica un incremento del crecimiento de las plantas promoviendo una mayor dificultad para el cuaje de frutos.

Las bajas temperaturas también inducen la formación de frutos de menor tamaño, que pueden presentar deformaciones, reducen la viabilidad del polen y favorecen la formación de frutos partenocárpicos. En este sentido, Pressman *et al.* (1998) determinaron que, en estas condiciones de temperaturas, la polinización manual puede incrementar considerablemente la producción y mejorar la forma del fruto. Aunque en general existen diferencias varietales, algunos de los requerimientos térmicos se aprecian en la tabla 1.

Tabla 1. Requerimientos térmicos (° C) para la planta de pimiento

Germinación	Mínima	12-15
	Máxima	35-40
	Óptima	25
Floración-cuaje	Mínima	18-20
	Máxima	35-40
	Óptima	25

Óptima día	22-28
Óptima noche	16-18
Mínima biológica	10-12
Mínima letal	1
Diferencias noche-día	6-8

Fuente: Serrano, 1978

Humedad relativa

La humedad relativa óptima oscila entre el 60% y el 70% lo que obliga a tener una buena ventilación del invernadero. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y dificultan la fecundación. La coincidencia de altas temperaturas y baja humedad relativa puede ocasionar la caída de flores y de frutos recién cuajados (Serrano, 1996).

Luminosidad

Es una planta muy exigente en luminosidad, sobre todo en los primeros estados de desarrollo y durante la floración, produciéndose una caída de flores cuando ésta es baja y las temperaturas altas. En condiciones de baja luminosidad, los entrenudos se alargan, quedando muy débiles para soportar una óptima producción (Prieto *et al.*, 2003).

Riego

En general, el consumo hídrico oscila entre $1 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ cuando la planta es pequeña hasta $4,5 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ a finales de mayo (Palomar, 1993). Para un cultivo de pimiento de primavera (diciembre-julio), las necesidades hídricas se estiman $1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$, aproximadamente. Tras el asentamiento de la planta resulta conveniente recortar riegos, con el fin de potenciar el crecimiento del sistema radical. Durante la primera floración, un exceso de humedad puede provocar la caída de las flores.

En cultivo hidropónico el riego está automatizado y existen distintos sistemas para determinar las necesidades de riego del cultivo, siendo el más extendido el empleo de bandejas de riego a la demanda. El tiempo y el volumen de riego dependerán de las características físicas del sustrato.

Suelo

Los suelos más adecuados para el cultivo del pimiento son los franco-arenosos, profundos, ricos, con un contenido en materia orgánica del 3-4% y principalmente bien drenados.

Los valores de pH óptimos oscilan entre 6,5 y 7 aunque puede resistir ciertas condiciones de acidez (hasta un pH de 5,5); aunque en enarenado vegeta perfectamente con un pH de 7 a 8 (Serrano, 1996). En cuanto al agua de riego el pH óptimo es de 5,5 a 7.

4.2. CULTIVO DE BERENJENA

4.2.1. Origen

La berenjena es originaria de las áreas de Asia tropical y subtropical. Fue cultivada por los antepasados en India, Birmania y China; el primero y el último considerados como 2 centros de origen, constatándose que en la India como en otras zonas del suroeste asiático su cultivo es muy antiguo (800 a. C). Hay referencias en el siglo IX sobre diferentes tipos de berenjena producidos en Arabia. Sobre el año 1200 fue ya cultivada en Egipto, desde donde fue introducida en el interior de la península Ibérica y Turquía para, posteriormente, expandirse alrededor del Mediterráneo y el resto de Europa, entre los siglos XV y XVI. Inicialmente no estaba muy difundido su consumo debido a su sabor característico y a que se la confundió con la mandrágora (Maroto, 2002).

A principios del siglo XVII, se le atribuyeron propiedades afrodisíacas, siendo la causa por la que se fue introduciendo e incrementando su cultivo produciéndose su entrada definitiva en la cocina. Así se introdujo en España para alimentación (Reche, 1991).

La berenjena es una de las hortalizas desconocidas en los diversos países, no muy generalizada en algunos y comúnmente apreciada en otros, entre los que destaca China, India, Japón y algunos países del mediterráneo (ASERCA, 1999).

4.2.2. Taxonomía y morfología

Dentro de las angiospermas, la berenjena (*Solanum melongena*) se encuentra dentro de los siguientes taxones:

Clase: <i>Magnoliopsida</i>	Tribu: <i>Solaneae</i>
Subclase: <i>Lamiidae</i>	Género: <i>Solanum</i>
Superorden: <i>Solananae</i>	Subgénero: <i>Leptostemonum</i>
Orden: <i>Solanales</i>	Sección: <i>Melongena</i>
Familia: <i>Solanaceae</i>	Serie: <i>Incaniformia</i>
Subfamilia: <i>Solanoideae</i>	Especie: <i>Solanum melongena</i> L.

La familia *Solanaceae* está compuesta por 83 géneros que engloban unas 1.000-1.400 especies de amplia distribución por todo el mundo, especialmente en zonas templadas y tropicales (D'Arcy, 1975).

Esta familia se caracteriza por presentar flores pentámeras, con sépalos persistentes, frecuentemente acrescentes. El ovario es súpero, bilocular, raramente plurilocular y con varios óvulos por lóbulo. Los frutos son bayas, drupas o cápsulas, indehiscentes y con varias semillas por lóbulo.

El género *Solanum* es el más numeroso dentro de la familia *Solanaceae*. Fue establecido por Linneo (1753) en su obra *Species plantarum*. En él se encuentran plantas herbáceas, arbustivas o arbóreas, usualmente espinosas. La corola es pentagonal o estrellada. Las anteras forman una columna que rodea al estilo y presentan dehiscencia por poros apicales. Los frutos son bayas globulosas.

Solanum melongena pertenece a uno de los grupos no tuberosos del género *Solanum* (Khan, 1979).

4.2.3. Descripción botánica

La berenjena es una planta herbácea, aunque sus tallos presentan tejidos lignificados que le dan un aspecto arbustivo (Mármol, 1991).

Tiene un crecimiento lento e indeterminado, pudiendo llegar la planta en condiciones de cultivo al aire libre a una altura de 2 a 2,5 m y en invernadero incluso a los 4 m (Maroto, 2002).

Raíz

La berenjena posee un sistema radical muy potente y muy desarrollado vertical y horizontalmente, pudiendo llegar hasta un metro de profundidad para buscar agua del suelo (Mármol, 1991).

Tallo

En la berenjena, los tallos son rígidos, erectos, ramificados, a veces espinosos, semileñosos y ligeramente vellosos. El crecimiento del tallo es indeterminado. Puede alcanzar una altura de dos metros, ramificándose desde la base y tendiendo a esparcirse y a ocupar gran espacio. Antes de su bifurcación, el tallo puede terminar lignificándose, de tal forma que si se corta por la cruz brotará de nuevo por la base del tallo a ras del suelo. Por otra parte, los tallos son frágiles y se quiebran con facilidad por el peso de las hojas y los frutos, por lo que es imprescindible, un buen tutorado. En las plantas de porte bajo o rastrero el desarrollo es menor, característico de las variedades para cultivo al aire libre (Mármol, 1991).

Hojas

Las hojas son sencillas, de gran tamaño, con bordes lobulados de textura aterciopelada, recubiertas en el envés de una vellosidad de color grisáceo. En algunos cultivares presenta espinas en el nervio central de las hojas y en el cáliz de la flor, existiendo en el mercado variedades con menos o prácticamente sin espinas, pues

resultan incómodas para la manipulación de la planta y de los frutos (Maroto, Baixauli, 2017).

El limbo puede alcanzar de 30-35 cm de longitud y de 10-15 cm de anchura. Su color es verde por el haz y agrisado por el envés (Mármol, 1991).

Flor

Las flores son de color blanco o violeta más o menos intenso según la variedad, suelen aparecer en forma solitaria o bien formando ramilletes de dos o más flores. La mayor parte de las variedades florecen en ramilletes de tres a cinco flores, una de las cuales es hermafrodita y de pedúnculo corto y continuo desde el tallo hasta el cáliz.

Las primeras flores aparecen cuando el tallo principal se bifurca (cruz de la planta), en las axilas de las hojas aparecen la flor principal acompañada de una o varias secundarias, en función del vigor y período vegetativo, aunque también es posible verlas en los entrenudos. La flor principal da lugar a una berenjena de buen tamaño y las secundarias, o bien no cuajan o el desarrollo de esos frutos termina siendo menor, por esta razón, generalmente, es aconsejable eliminarlas (Maroto, Baixauli, 2017).

Los estambres presentan anteras muy desarrolladas de color amarillo que se sitúan por debajo del estigma, dificultando la fecundación directa. Los estambres son de igual tamaño y con las anteras en contacto. Se encuentran soldados a la corola, visibles y miden alrededor de 1,5 cm de longitud (Mármol, 1991).

El gineceo está formado por dos carpelos con un ovario bilocular y súpero, pudiéndose apreciar completamente en algunos casos el estigma, el estilo y el ovario. El estilo mide aproximadamente 1,2 cm (Mármol, 1991).

El cáliz de la flor perdura después de la fecundación y crece junto al fruto, envolviéndolo por su parte inferior, lo que puede dar lugar a ataques de botritis (*Botrytis cinerea*) cuando la humedad relativa es elevada, ya que los pétalos quedan atrapados entre el cáliz y el fruto.

Fruto

El fruto es una voluminosa baya carnosa con pulpa consistente y seca en la que se encuentran gran número de semillas. Su forma es muy variable dependiendo del tipo de berenjena que se trate, aunque predominan las formas redondas, globosas y alargadas, de colores muy diversos en la madurez comercial, siendo habituales el morado oscuro, el violeta, el negro, el amarillo o el blanco. La pulpa es carnosa, de coloración amarilla, blanca o verde, volviéndose parda al contacto con el aire debido a la oxidación. Su peso oscila de 200 a 300 gramos (Mármol, 1991).

Semilla

Las semillas son pequeñas, aplanadas, redondas o ligeramente arriñonadas, de color beige-amarillento y de 3 a 3,5 mm de diámetro. Son muy abundantes, obteniéndose hasta 2.500 semillas/fruto.

Su poder germinativo medio en condiciones normales varía de 5 a 6 años (Mármol, 1991).

4.2.4. Etapas de desarrollo del cultivo de berenjena

Trasplante

La plantación de berenjena en invernadero se lleva a cabo con plántulas procedentes de semillero.

El trasplante al terreno definitivo tiene lugar a los 45-50 días tras la siembra en semillero, cuando la planta tiene de 4-6 hojas verdaderas y unos 10-12 cm de altura.

El marco de plantación se establece en función de la variedad cultivada, del sistema de cultivo, del ciclo de cultivo y del número de brazos a dejar en la poda de formación.

Crecimiento vegetativo

Una vez arraigada la planta y hasta el cuajado de los primeros frutos, los riegos se distanciarán lo máximo posible, con el fin de favorecer que el sistema radical explore el suelo en profundidad y procurar que el desarrollo vegetativo no sea muy rápido, ya

que un desarrollo exuberante traería consigo dificultades en la floración y fecundación de las flores.

Floración y fructificación

Normalmente la primera inflorescencia aparece en la "cruz" de la planta, aproximadamente a los 25-30 días tras el trasplante.

Aproximadamente a los 40-50 días del trasplante, tiene lugar la poda de formación, con ella se limita el número de tallos con los que se desarrollará la planta, normalmente 2, 3 o 4.

El "entutorado" mantiene la planta erguida, mejora la aireación general de la misma, favorece el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales.

La fecundación de la flor es autógama, aunque también puede haber cruzamiento con flores de otras plantas e incluso de la misma planta. El exceso de humedad perjudica la dehiscencia del polen, por lo que la flor puede caerse como consecuencia de la falta de fecundación.

Bajo condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa, la polinización puede verse mejorada con la aplicación de un chorro de aire dirigido a la flor. También se puede recurrir al uso de abejorros (*Bombus terrestris*).

Desarrollo del fruto

Tras la fecundación de la flor, comienza a desarrollarse el ovario, transformándose en fruto. A partir de este momento, las necesidades de agua aumentan y el riego debe ajustarse a la demanda del cultivo según la evapotranspiración del mismo.

En el ramillete floral sólo una de las 3-4 flores originará el fruto principal, por lo que conviene eliminar el resto. Es aconsejable realizar un aclareo de frutos malformados o dañados por plagas o enfermedades.

Madurez fisiológica y cosecha

La recolección se realiza cuando el fruto aún no ha alcanzado la madurez fisiológica, antes de que las semillas empiecen a engrosar, ya que la presencia de semillas en el fruto amarga el paladar. En la madurez fisiológica los frutos presentan una coloración cobriza, la piel aparece poco tersa, la pulpa adquiere una consistencia corchosa y las semillas ya parecen totalmente formadas (Maroto, Baixauli, 2017).

En el momento adecuado para su recolección, el fruto presenta un aspecto brillante, color uniforme y posee un tamaño aproximadamente comprendido entre los 2/3 y 3/4 de su desarrollo máximo. La pulpa presenta un color blanquecino, un aspecto terso en toda la superficie, mientras que se produce un ligero reblandecimiento justo debajo del cáliz

Los frutos se deben cortar por la mañana, a ser posible, exentos de humedad, empleando siempre tijeras de podar para no causar desgarros y dejando al menos un centímetro de pedúnculo.

4.2.5. Importancia del cultivo de la berenjena

La berenjena (*Solanum melongena* L.), es una de las hortalizas desconocida en diversos países, no muy generalizada en algunos, y común y apreciada en otros, entre los que destacan China, India, Japón, los países del Mediterráneo y los Estados Unidos (ASERCA, 1.999).

A nivel mundial, en 2013 se obtuvo una producción de 49 millones de toneladas en un total de 1,87 millones de hectáreas cultivadas, siendo India y China los principales productores de esta hortaliza (FAO, 2016).

En España más de la mitad de la producción se destina a la exportación a países de la Unión Europea, principalmente a Francia y Alemania.

La mayor producción de berenjena se encuentra en los países asiáticos, mientras que España ocupa la 11ª posición (FAO, 2011) concentrándose su producción en zonas de la parte Suroriental de la península (Almería, Murcia, Alicante y Valencia), Islas Baleares e Islas Canarias. Valencia es la provincia española que más superficie de cultivo tiene, pero con bajo rendimiento por ser sobre todo cultivo al aire libre (25.000 kg/ha), mientras que en

invernadero, Murcia, Alicante y Almería, duplican la producción por hectárea, oscilando entre 50.000 a 120.000 kg/ha, según ciclo de cultivo.

Más del 70 % de la producción se obtiene en los invernaderos de Almería, a la que se destinaron un total de 2.164 hectáreas en la campaña 2018/2019 con una producción de 190.614 toneladas concentrándose la mayoría en la comarca del Poniente (FAO, 2019).

Almería es el principal proveedor de este producto en los mercados internacionales, especialmente en los europeos, durante el tramo final del otoño y el invierno. El 30% de la berenjena exportada por Almería se destina al mercado francés y otros destinos importantes son Alemania (20%), Italia (14%), Reino Unido (10%) y Países Bajos (9%) según datos publicados en el Análisis de la campaña hortofrutícola 2018/2019 de la Fundación Cajamar.

Dicha publicación refleja un incremento del 19% en el valor económico de las exportaciones como consecuencia de un mayor valor unitario del producto final.

Gastronómicamente tiene unas grandes posibilidades, que en la medida que se den a conocer y se exploten pueden mejorar su consumo.

4.2.6. Condiciones agroclimáticas para berenjena

Temperatura

La berenjena es una planta de clima cálido y no se adapta bien al frío, entre las solanáceas es la más sensible a las bajas temperaturas. Es más exigente en temperaturas que el pimiento y tomate, siendo su óptimo entre 20 y 30°C. No crece por debajo de 12°C y aguanta bastante bien temperaturas mayores de 40°C. Cuando las temperaturas son próximas a la mínima biológica (10-12°C) o a la máxima (40-45°C) hay disminuciones en los procesos biológicos, retraso del crecimiento, que afecta a la floración, fecundación y desarrollo del fruto.

Humedad relativa

La humedad relativa óptima oscila entre el 50% y el 65%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y dificultan la fecundación. Cuando la humedad y la temperatura son elevadas se produce una floración deficiente,

caída de flores, frutos deformes y disminución del crecimiento. Efectos similares se producen cuando la humedad relativa es escasa.

Luminosidad

Exige alta intensidad lumínica para poder alcanzar su potencial productivo por lo que el sombreado disminuye el rendimiento. La combinación de alta luminosidad lumínica y temperatura por debajo de 16°C reduce la viabilidad del polen. El fotoperiodo no es muy influyente en la floración y la mayoría de los cultivares florecen bien en días de 10 a 15 horas de luz (Morales-Payán, 1991).

Riego

Es un cultivo con pocas necesidades hídricas al comienzo de su desarrollo, pero que posteriormente aumenta su demanda.

Hay que evitar que el desarrollo vegetativo sea muy rápido, por lo que después de la plantación es necesario evitar el exceso de humedad en el suelo. Un excesivo desarrollo de la planta reduciría la floración y posterior fecundación de las escasas flores que puedan aparecer, por tanto, hay que mantener esta precaución hasta que hayan cuajado dos o tres frutos. Cuando los primeros frutos comienzan su desarrollo es necesario aumentar paulatinamente el volumen de agua, regando cada dos o tres días, e incluso a diario, dependiendo de las condiciones ambientales.

Suelo

La berenjena posee una gran capacidad de adaptación a los suelos, siempre y cuando disponga de nutrientes en cantidad suficiente y buen drenaje. Prefiere suelos con un pH entre 5,5 y 6,8, un buen contenido en materia orgánica, una buena capacidad de retención de humedad y con profundidad no menor de 25 cm.

La textura franco-arenosa o franco limosa es ideal. El buen drenaje del suelo es de suma importancia en este cultivo ya que los encharcamientos producen la aparición de enfermedades de suelo.

4.3. CULTIVO DE LECHUGA

4.3.1. Origen

El origen de la lechuga no parece estar muy claro, aunque algunos autores afirman que procede de la India, aunque hoy día los botánicos no se ponen de acuerdo, por existir un seguro antecesor de la lechuga, *Lactuca scariola* L., que se encuentra en estado silvestre en la mayor parte de las zonas templadas. Mallar (1978), siendo las variedades cultivadas actualmente una hibridación entre especies distintas.

El centro de origen de la lechuga probablemente está entre Asia Menor y la cuenca del Mediterráneo (Vavilov, 1992), pero la transición a su forma comestible probablemente tuvo lugar en el área del Mediterráneo oriental, quizás en Egipto, posiblemente en la región del Tigris-Eufrates (Ryder, 1999). Desde Egipto, la lechuga cultivada y comestible se extendió a Grecia, Roma y a toda la región Mediterránea. Fue traída al Nuevo Mundo por Cristóbal Colón en su segundo viaje; su presencia se reportó en la isla Isabella en 1494 (Ryder, 1999). En los siguientes 400 años de su introducción a América, una gran variedad de tipos y formas de lechuga han sido desarrollados y actualmente cultivados en prácticamente todo el mundo.

A lo largo de los años se han seleccionado múltiples tipos de lechuga en todo el mundo, pero cabe resaltar la obtención en la década de los 40 de la primera lechuga iceberg, la variedad ‘Grandes Lagos’, que fue desarrollada por Whitaker. Esta variedad representó el inicio de la actual industria de ensaladas, dominando el mercado de Estados Unidos hasta hoy en día. Las variedades de lechuga iceberg fueron introducidas en Europa al final de los 60 e inicio de los 70 y representan el núcleo de la producción de lechugas hoy en día, aunque gracias al desarrollo de la industria de las ensaladas preparadas, se han introducido y desarrollado una amplia gama de tipos de lechuga, con una gran diversidad de formas, texturas y colores, lo que Ryder (2002) calificó como *The New Salad Crop Revolution*, incorporando además otros cultivos de hoja.

4.3.2. Taxonomía y morfología

Según la taxonomía clásica, la lechuga se clasifica:

Familia: *Compositae (Asteraceae)*.

Tribu: *Cichoreae*.

Género: *Lactuca*.

Especie: *sativa* L.

El número de cromosomas es $2n = 18$.

Está estrechamente emparentada con la lechuga silvestre *Lactuca serriola* L. y menos próxima a la *L. saligna* L. y *L. virosa* L.

La lechuga es una planta anual de la familia de las Compuestas, corresponde a la especie *Lactuca sativa* L., presenta una gran diversidad genética ya que existen diferentes tipos, caracterizadas por sus tipos de hojas y hábitos de crecimiento.

Se clasifican en diferentes variedades dentro de las cuales se encuentran la de hoja suelta *Lactuca sativa* cv. Crispa, conocidas como escarolas ya que sus hojas son numerosas y de borde irregular (crespo); y las lechugas de cabeza *Lactuca sativa* cv. capitata Janchen que presentan hojas lisas, orbiculares y de textura suave o mantecosa con hojas internas que forman un cogollo amarillento al envolver a las más nuevas, formando una cabeza (Casaca, 2005).

4.3.3. Descripción botánica

La lechuga es una planta anual de días largos, ciclo corto y autógama.

Raíz

Tiene una raíz pivotante y aunque se describe como profunda, se ha podido observar a lo largo de los años que varía en función del sistema de producción. Cuando se hace siembra directa se aprecia una raíz pivotante más profunda, pero cuando se recurre al

trasplante, esa raíz pivotante casi desaparece y se divide en otras laterales. Con sistema de riego localizado y en función del tipo de suelo y manejo se puede dar un sistema radical más superficial.

Tallo

El tallo, en función de la variedad y su comportamiento, puede cambiar considerablemente, en la mayoría de las variedades comerciales es corto, apenas unos milímetros en el momento óptimo de cosecha, pero cuando inicia la etapa reproductiva se produce un alargamiento del mismo para dar lugar a la floración.

Hojas

Las hojas pueden ser de múltiples formas, lanceoladas, oblongas, redondas y el borde, liso, lobulado, ondulado o dentado. La superficie es plana, rugosa o abarquillada.

Las hojas, de color verde brillante y sin espinas, se colocan en roseta y quedan desplegadas al principio, manteniéndose así durante todo su desarrollo en el caso de algunas variedades, o acogollándose más tarde en el caso de otras. A medida que se van cubriendo unas a otras desaparece su contacto directo con la luz, por lo que pierden el color verde. Por otra parte, este color verde variable, ocasionalmente teñido con tonalidades rojizas o violáceas, es característico de cada variedad (Japón, 1977).

Las hojas inferiores son enteras y presentan un peciolo corto, mientras que las superiores son sésiles, más redondeadas y ovales. El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado. Por su consistencia pueden ser más rígidas y crujientes o mantecosas.

Flores

Las flores, hermafroditas, están agrupadas en capítulos compuestos por 10 a 20 floretes amarillentos en racimos o corimbos.

Fruto

El fruto es un aquenio que contiene una única semilla provista de un vilano plumoso.

Semillas

Es una planta autógama cuyas semillas son en realidad aquenios de color blanco, amarillo, marrón o negro, miden unos 2 a 4 mm de longitud y en su base se encuentra el vilano plumoso que facilita la diseminación por el viento.

En un gramo hay unas 800 semillas y su capacidad germinativa es de 4 a 6 años. Las semillas de lechuga pueden presentar un período de latencia después de su recolección, que puede ser roto o acortado por diversos tratamientos físicos y químicos.

4.3.4. Variedades de lechuga

Se distinguen 6 grupos de lechugas divididos en dos grupos:

I. *Lechugas que no forman cogollo.*

1. *Lechuga esparraguera*: la planta forma un tallo carnoso del que, después de cocido y pelado, se consume la médula.

2. *Lechuga de cortar*: desarrolla una roseta muy tupida de hojas libres.

II. *Lechugas que forman cogollo.*

1. *Lechuga romana*: dan un cogollo oblongo, voluminoso pero menos prieto que los demás tipos.

2. *Lechuga Batavia o rizada*: cogollo con tendencia a achatarse, puede ser voluminoso.

3. *Lechuga lisa o mantecosa*: cogollo globoso de hojas más o menos blandas.

4. *Lechuga crasa*: hojas espesas que forman un cogollo poco recubierto.

Buen comportamiento con calor y resistente a subida de flor.

En la actualidad la renovación de variedades es muy rápida debido a la búsqueda de genotipos resistentes a diferentes razas de mildiu, al pulgón, etc. (Halsouet, Santiago, 2005).

4.3.5. Etapas de desarrollo del cultivo de la lechuga

Trasplante

La plantación de lechuga se hace con planta en cepellón obtenida en semillero. Una vez transcurridos 30- 40 días después de la siembra será plantada cuando tenga de 5 a 6 hojas verdaderas.

Las plantas se disponen en los agujeros hechos en el plástico en un marco de 0,25 x 0,30 cm ó 0,30 x 0,30 cm según sea en invernadero o en cultivo al aire libre, dando lugar a 10 o 12 plantas por metro cuadrado.

La plantación se realiza en caballones a una altura de 25 cm, para que las plantas no estén en contacto directo con la humedad, evitando así los ataques producidos por hongos. La plantación debe hacerse de forma que la parte superior del cepellón quede a nivel del suelo, para evitar entre otras, podredumbres a nivel de cuello.

Ciclo de cultivo

El crecimiento de la lechuga puede ser dividido en cuatro estadios: plántula, roseta, encabezamiento (no en todos los tipos) y reproductivo.

En el ciclo de cultivo de la mayor parte de las lechugas podemos distinguir estos estadios:

- Plántula.
- Formación de roseta.
- Crecimiento y formación de cogollo, más o menos compacto.
- Reproducción o emisión del tallo floral.

Pequeñas raíces de 2-3 cm se forman previo al desarrollo de la parte aérea, que puede tardar entre 3 y 7 días en emerger, apareciendo en primer lugar los cotiledones cuyas reservas se emplean para las fases iniciales de desarrollo de la plántula.

Las primeras hojas verdaderas aparecen inmediatamente y se inicia el proceso de fotosíntesis y desarrollo de la planta, con una raíz pivotante cuyo desarrollo en

profundidad dependerá del tipo, preparación y humedad del suelo, disponibilidad de oxígeno y del drenaje. Esta raíz pivotante será mucho más evidente y desarrollada en plantas sembradas directamente, lo que le confiere una resistencia mayor a las condiciones adversas.

En ese momento se produce un crecimiento foliar en roseta, con hojas insertadas en un tallo muy corto. Cuando estas empiezan a curvarse se inicia el acogollado, aparecen hojas que se abomban hacia el interior formando la cabeza y posteriormente, el desarrollo de las hojas interiores llena la cabeza, compactándose más o menos, en función de la variedad y las condiciones ambientales.

La madurez comercial se alcanza en variedades acogolladas entre 60 y 120 días dependiendo del momento del año. La sobre madurez se manifiesta con el exceso de compacidad y la rotura de hojas exteriores. La vida útil de la lechuga es mayor cuando se cosecha en un estadio de madurez temprana.

El factor genético es determinante en la capacidad de acogollar de las distintas variedades de lechuga en combinación con otros factores como la relación entre luz y temperatura.

A final de verano cuando la duración del día se acorta y se mantienen altas temperaturas, el riesgo de subida a flor o espigado se acrecienta, además influye mucho la temperatura nocturna. Con fotoperiodos largos hay mejor comportamiento en el acogollado, cuando las temperaturas no son excesivamente altas. Siempre hay que elegir las variedades adecuadas en cada momento del año y mejor adaptadas a las condiciones ambientales ya que tienen requerimientos distintos de luz y temperatura.

Hay otros factores que pueden favorecer la subida a flor como el estrés sufrido durante el desarrollo de la planta en el semillero y el manejo del riego y la fertilización durante el cultivo.

Ciclo biológico

En función de la variedad se pueden dar estos ciclos de cultivo:

- *Ciclo productivo otoñal.* Se siembra en julio-agosto para recolectar entre octubre y diciembre. Las variedades empleadas son de ciclo muy rápido resistentes a la subida a flor prematura.
- *Ciclo productivo invernal.* Se siembran en agosto-noviembre y se recolectan entre diciembre-marzo. Deben ser variedades resistentes al frío.
- *Ciclo productivo primaveral.* Son sembradas en enero-febrero y se recolectan desde abril a junio. Si se emplean variedades tardías deben ser resistentes a la subida a flor prematura.
- *Ciclo productivo estival.* Se siembran en abril-mayo y se recolectan en julio-agosto. Se deben utilizar variedades de ciclo muy corto resistentes a la subida a flor.

Al margen de las producciones locales en distintas ubicaciones de España, los grandes productores de lechuga, ubicados en las provincias de Murcia y Almería, disponen de varias zonas, a distintas alturas buscando el clima ideal para el desarrollo del cultivo en cada momento del año.

4.3.6. Calidad de la lechuga

En general debe ser una lechuga limpia, libre de enfermedades y plagas, buena forma, firmeza, hojas túrgidas y sin deshidratación. El pedúnculo debe tener entre 1 y 1.5 cm de largo, debe estar madura, libre de manchas, tierra, hojas quebradas, daño mecánico, cicatrices y tamaño, de acuerdo a la variedad (Colonia, 2008).

4.3.7. Importancia del cultivo de la lechuga

Según los datos oficiales de la FAO (2014), en los que vienen lechugas y escarolas agrupadas, en el mundo se cultivan 1.148.353 ha con una producción de 24.896.115 toneladas. La producción casi se ha duplicado en los últimos 20 años.

China es el principal productor, seguido de Estados Unidos e India.

España, y concretamente Murcia y Almería disponen de las únicas zonas con el clima adecuado para la producción de lechuga en invierno al aire libre. En Europa, Italia cultiva lechugas en invierno bajo plástico y alguna pequeña área muy al sur dispone del clima adecuado.

Por regiones, en Murcia se concentra la mayor parte de la producción, alrededor de las 15.000 ha, seguida de Andalucía, con 11.440 ha, concretamente, Almería con 7.079 y Granada con 3.231 ha. También se cultiva en la Comunidad Valenciana, 1.933 ha, distribuidas entre las 3 provincias, Alicante con 821 ha, Valencia con 693 ha y Castellón con 419 ha.

La producción de lechuga está destinada mayoritariamente a la exportación a los países europeos. Según la información disponible en FEPEX estas exportaciones han ido creciendo en los últimos años, desde las 611.779 toneladas del año 2011 hasta las 710.499 toneladas del año 2014. Esta exportación es estacional y se concentra en los meses desde mitad de octubre a mitad de mayo.

Una parte significativa de la producción de lechuga está destinada a la industria de ensaladas preparadas, siendo este un sector que se ha desarrollado considerablemente, sobre todo en países como Reino Unido, donde la lechuga para consumo en fresco ha quedado relegada a un segundo lugar.

La importancia del cultivo de la lechuga ha ido incrementándose en los últimos años, debido tanto a la diversificación de tipos varietales, como al aumento de la cuarta gama siendo uno de los principales productos de exportación de los países europeos que ha dado cierta estabilidad al mercado y aumentó más de un 4 % de media en la mayoría de los países de la Unión Europea. Reino Unido es el mayor mercado, seguido por el italiano, holandés y francés. España es un mercado menos desarrollado que los anteriores, aunque crece a buen ritmo, alcanzando las 90.000 toneladas anuales de producción, lo que supone una proporción muy importante de las 200.000 toneladas que se consumen en España.

4.3.8. Condiciones agroclimáticas para lechuga

Temperatura

La temperatura óptima de germinación oscila entre 18-20°C. Durante la fase de crecimiento del cultivo se requieren temperaturas entre 14-18°C por el día y 5-8°C por la noche, pues la lechuga exige que haya esta diferencia de temperatura entre el día y la noche (abcAgro, 2002).

Durante el acogollado se requieren temperaturas en torno a los 12°C por el día y 3-5°C por la noche. Este cultivo soporta peor las temperaturas elevadas que las bajas, ya que como temperatura máxima puede soportar hasta los 30°C y como mínima temperaturas de hasta -6°C. Cuando la lechuga soporta temperaturas bajas durante algún tiempo, sus hojas toman una coloración rojiza, que se puede confundir con alguna carencia (abcAgro, 2002).

Humedad relativa

El sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal un periodo de sequía, aunque éste sea muy breve (abcAgro, 2002).

La humedad relativa para la lechuga debe ser entre un 60 y 80%, aunque en determinados momentos agradece menos del 60%. Los problemas que presenta este cultivo en invernadero es el incremento de la humedad ambiental, por lo que se recomienda su cultivo al aire libre, cuando las condiciones climatológicas lo permitan (abcAgro, 2002).

Luminosidad

La intensidad y la duración de la luminosidad, junto con la temperatura, son los factores más influyentes en el crecimiento y sobre todo en el espigado o subida a flor. Hay que evitar este proceso en todo momento (salvo para la obtención de semillas), porque las hojas amargan y se endurecen perdiendo así la lechuga toda su ternura y agradable sabor. En zonas calurosas y en general, en verano, intentaremos sombrear el cultivo para evitar espigados prematuros y es recomendable plantar las variedades

más resistentes al espigado. Además, en régimen de baja iluminación, los nitratos se acumulan en las hojas, pudiendo provocar trastornos fisiológicos (Halsouet, Santiago, 2005).

Riego

La lechuga es una gran consumidora de agua. Un déficit hídrico puede ocasionar la formación prematura de un acogollado defectuoso y de quemaduras marginales. Por otra parte, el exceso de humedad favorece la aparición de botritis (Halsouet, Santiago, 2005).

Suelo

La lechuga prefiere suelos ligeros, arenoso-limosos, con buen drenaje y pH situando 6,7 y 7,4. En los suelos humíferos, la lechuga vegeta bien, pero si son excesivamente ácidos será necesario encalar. Este cultivo, en ningún caso admite la sequía, aunque la superficie del suelo es conveniente que esté seca para evitar en todo lo posible la aparición de podredumbres de cuello (abcAgro, 2002).

Un buen contenido del suelo en materia orgánica siempre es útil porque favorece el calentamiento del suelo, buscado en los cultivos de primavera y permitiendo cosechas más tempranas (Halsouet, Santiago, 2005). En verano, en los suelos ricos en materia orgánica, hay un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos y un crecimiento más rápido de las plantas.

La aportación de materia orgánica es muy conveniente en la mayoría de los casos, siempre que esté bien compostada controlando bien el origen y el procedimiento del compostaje, para evitar problemas de seguridad alimentaria (Marhuenda, García, 2016).

4.4. CULTIVO SIN SUELO

4.4.1. Concepto de cultivo sin suelo

Los límites de los denominados cultivos sin suelo son bastante amplios. Incluye a todos aquellos métodos y sistemas que hacen crecer a las plantas fuera de su ambiente

natural: el suelo (Urrestarazu, 2004). Por lo tanto, engloba a todos los sistemas hidropónicos, aeropónicos, NFT, cultivos en sustrato, etc.

El cultivo hidropónico puro, sería aquel en el que, mediante un sistema adecuado de sujeción, la planta, desarrolla sus raíces en medio líquido (agua con nutrientes disueltos) sin ningún tipo de sustrato sólido. Cultivo hidropónico según la tendencia mayoritaria, es utilizado para referirnos al cultivo en agua (acuicultura) o en sustratos sólidos más o menos inertes y porosos a través de los cuales se hace circular la disolución nutritiva.

La palabra sustrato, se aplica en horticultura a todo material sólido, distinto del suelo in situ, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, de forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta, pudiendo intervenir (material químicamente activo) o no (material inerte) en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta (Abad *et al.*, 1996).

4.4.2. Antecedentes y evolución del cultivo sin suelo

Los cultivos hidropónicos surgen de los primeros trabajos de investigación, encaminados a conocer las necesidades nutritivas de las plantas.

En 1699, en Inglaterra, Woodward fue el primer autor que hizo crecer a las plantas en diversos recipientes en medio líquido al que había añadido diferentes cantidades de suelo. El siguiente paso fue no añadir una cierta cantidad de suelo, así fue como el químico alemán Sachs en 1860 empezó, junto a otros autores contemporáneos como Knop, a desarrollar el cultivo en solución nutritiva, la llamada “nutriculture”, básicamente su sistema no difiere a como hoy se hace en la investigación en nutrición mineral y fisiología vegetal (Urrestarazu, M., 2004).

Los cultivos hidropónicos tal y como los conocemos en la actualidad, fueron impulsados en 1930 por Gericke de la Universidad de California, introduciendo el sistema de cultivo sin suelo de forma comercial para tomates, desarrollando los cultivos en bolsas de arena.

El gran despegue de los cultivos protegidos o forzados se produce en los años sesenta, con la difusión de los plásticos como material de cubierta en los invernaderos (Maroto, 1990). La aparición de nuevos plásticos para conducción de riego, el desarrollo de los riegos localizados, la incorporación de los programadores de riego, ordenadores para su manejo y el desarrollo de distintos sustratos inertes, ha permitido la implantación de los sistemas de cultivo sin suelo.

El sistema de cultivo enarenado de Almería y Murcia se acerca bastante al sistema de cultivo sin suelo y se considera como el precursor de estos nuevos sistemas de cultivo hidropónico, que se desarrollan en España, iniciándose en Murcia por medio de cultivos en salchichas de arena (Martínez, P. F. 1996).

Es en los años 80 cuando se produce la auténtica expansión de estos cultivos, gracias a la aparición de sustratos inertes tales como la lana de roca o la perlita que, junto con los avances producidos en instalaciones y automatismos de control, han permitido obtener producciones elevadas (Camacho *et al.*, 2003).

En el sureste español existen en la actualidad más de 5.000 hectáreas de cultivo hortícola en explotación mediante sistema de cultivo sin suelo, desarrolladas paralelamente a la expansión tecnológica de los cultivos bajo plástico y las nuevas equipaciones de riego localizado (Urrestarazu, 2006).

4.4.3. Clasificación de los cultivos sin suelo

Las clasificaciones de los cultivos sin suelo se realizan en general atendiendo a los siguientes criterios básicos: el medio físico donde crece la raíz; forma de suministro de la disolución nutritiva; forma, en su caso, de aireación de la disolución nutritiva, y la existencia o no de reciclado o recuperación de la solución (Urrestarazu, 2000).

En general, se agruparían en cultivos en agua y cultivos en sustratos, dentro de este último se distinguen los sustratos orgánicos, inorgánicos y mixtos (Benton, 1983). Como cultivo en agua (solución nutritiva) se conoce a todo aquel sistema de cultivo que no utiliza ningún anclaje sólido en el cual se desarrolla y vive el aparato radical,

Evaluación del efecto de la intensidad de mallas fotoselectivas en cultivo sin suelo

y por tanto le sirve para fijar al mismo (*Nutrient Film Technique* (NFT), New Growing System (NGS), aeroponía, etc.) (Urrestarazu, 2004).

Los cultivos en sustrato presentan dos diferencias principales con los cultivos en agua (Urrestarazu, 2015):

- a) La aireación es mayor que en los cultivos en agua, por lo tanto, son menos frecuentes los problemas de hipoxia radical.
- b) No existe una ilimitada disponibilidad de agua para las raíces.

Para conseguir la mejor producción en los cultivos sin suelo en sustrato es necesario encontrar el punto de equilibrio entre agua-aire mediante el manejo del riego con la frecuencia y la duración del mismo (Urrestarazu, 2015).

4.4.4. Los sustratos de cultivo. Definición y clasificación

El término “sustrato” se aplica en Horticultura a todo material sólido distinto del suelo in situ que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta (Urrestarazu, 2004).

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc. Los sustratos se pueden clasificar como se detalla a continuación (Baixauli *et al.*, 2002):

- a) **Sustratos orgánicos**, que al mismo tiempo se pueden subdividir en:
 - De origen natural, entre los que se encuentran las turbas.
 - Subproductos de la actividad agrícola, la fibra de coco, virutas de madera, paja de cereales, residuos de la industria del corcho, cascarilla de arroz, cáscara de almendra, etc.
 - Productos de síntesis, entre los que encontramos: polímeros no biodegradables, como la espuma de poliuretano y el poliestireno expandido.

b) **Sustratos inorgánicos**, que podemos subdividir en:

- De origen natural, que no requieren de un proceso de manufacturación, entre los que encontramos: la arena, las gravas, las zeolitas y las tierras de origen volcánico.
- Aquellos que pasan por un proceso de manufacturación, como son: la lana de roca, la fibra de vidrio, perlita, vermiculita, arcilla expandida, etc.

El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta y merece ser destacada la clasificación basada en las propiedades de los materiales en (Urrestarazu, 2004):

- a) **Químicamente inertes.** El material actúa única y exclusivamente como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes: arena granítica o silíceas, grava, perlita, lana de roca, etc.
- b) **Químicamente activos.** El material actúa como soporte para la planta y como depósito de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización, almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal: turbas negras y rubias, corteza de pino, vermiculita, etc.

La elección de un sustrato u otro va a depender por orden de prioridad: de la disponibilidad del mismo, de las condiciones climáticas, de la finalidad de la producción y especie cultivada, de sus propiedades, del coste de la experiencia de manejo, homogeneidad, de la dedicación al sistema y de las posibilidades de instalación (Baixauli *et al.*, 2002).

Como conclusión, decir que un sustrato particular proporciona los mejores resultados, realmente quiere decir, que ese sustrato dio los mejores resultados bajo un sistema particular de manejo que prevaleció durante el cultivo. Un cambio en las prácticas de manejo o un cambio en el medio ambiente, a menudo pueden llegar a proporcionar resultados completamente distintos, por tanto, nunca se puede hablar de sustrato “ideal”, ya que es el binomio sustrato-manejo el que determinará el éxito o el fracaso en la utilización de un determinado material como sustrato.

4.4.5. Sistema de cultivo en fibra de coco (“COCNUT FIBER”)

El fruto del coco es un fruto en drupa y está compuesto por cáscara (exocarpio más mesocarpio) en un 35%, casco o hueso (endocarpio) en un 12%, albumen o carne (endospermo) en un 28% y agua en un 25%.

El mesocarpio o fibra se utiliza en tapicería, colchonería, cordelería, etc. Como productos residuales de la obtención de fibra de coco se obtienen fibras cortas (2 mm o menores) y el polvo de coco. El polvo de coco se utiliza como sustrato hortícola, mejorador de suelos, en paneles de construcción, etc.

Por tanto, lo que conocemos como fibra de coco como sustrato hortícola verdaderamente no es fibra de coco sino una mezcla de fibras cortas (*coconut fiber*) y polvo de coco (*coconut pitch*) (Urrestarazu, 2004).

La apariencia de este material es similar a la turba. Está compuesto básicamente por lignina y celulosa proveniente del mesocarpo del fruto del cocotero. Según los Anuarios de producción de la FAO entre los años 1989 y 2010 la producción media mundial de coco fue de unos 46 millones de toneladas de coco (excluyendo el mesocarpio), lo cual permite un suministro garantizado de la propia fibra y polvo de coco que es un producto residual de la parte aprovechable como fruto (Urrestarazu, 2015).

La fibra de coco es un material ligero y presenta una porosidad total muy elevada, por encima del 93%. Presenta cantidades aceptables de agua fácilmente disponible y está bien aireado. La fibra de coco se contrae poco cuando se deja secar (Abad *et al.*, 1997).

El sistema mayoritariamente empleado es el de cultivo en contenedor, a partir de suministro de dicho sustrato en forma de ladrillo deshidratado y comprimido, que es la forma de suministro que menor grado de variación de las características físicas y químicas presenta. El mayor grado de variación lo presenta en las formas de bala prensada y saco de cultivo (Noguera *et al.*, 1999).

Se trata de un material que presenta unas propiedades químicas y físico-químicas muy adecuadas para el cultivo, de ellas se podrían destacar su excelente nivel de pH, aunque si bien su salinidad puede ser muy variable porque podemos encontrar muestras de diversa procedencia de todo el mundo, por lo que estaríamos encontrando intervalos que varían desde un nivel muy aceptable hasta otro de claro valor limitante. Esta falta de homogeneidad es debida en parte al manejo sufrido en origen para la extracción del producto aprovechable (Urrestarazu, 2015).

Un factor a tener en consideración en los sustratos orgánicos es el efecto del tiempo que hemos cultivado sobre el sustrato, ya que su durabilidad, es decir, el tiempo en el que permanecen constantes las propiedades sin degradarse, sea lo suficientemente amplio para que sea competitiva la amortización de su coste. En el caso de la fibra de coco, este es un material bastante estable en especial por su elevada relación C/N (Urrestarazu, 2015).

La fibra de coco presenta como ventajas:

- Su efecto estimulante sobre el crecimiento de la planta.
- Alta capacidad de retención de agua.
- Excelente capacidad de drenaje.
- Fácil de manejar.
- Niveles aceptables de pH, CIC y CE.
- Se trata de un recurso renovable. Su residuo participa en procesos de humificación y enriquecimiento de la materia orgánica del suelo.
- Descomposición más lenta que la turba.
- Mayor mojabilidad que la turba.
- Más resistente físicamente que la turba.

Como inconvenientes presenta la falta de homogeneidad de las distintas partidas, procedencias y modalidad de presentación y alta salinidad de algunos lotes (Baixauli, Aguilar, 2002).

4.5. RADIACIÓN SOLAR

4.5.1. Conceptos básicos

La radiación solar es la fuente de energía usada por las plantas en el proceso de fotosíntesis mediante el cual producen materia vegetal creciendo y desarrollándose. Parte de esta materia vegetal es el producto cosechado del cultivo, ya sea fruto, hoja, tallo o raíz (Hernández *et al.*, 2001). Así existe una relación directa entre la cantidad de radiación solar que un cultivo ha recibido (suele medirse en horas de sol, como primera aproximación) y la cosecha que podemos obtener de él si lo cultivamos correctamente (Cockshull, 1998).

La parte de la radiación solar que proviene directamente del sol se denomina *radiación directa* (Hernández *et al.*, 2001). La radiación directa presenta una distribución vertical recta (con mínimas desviaciones al atravesar la atmósfera terrestre), caracterizada por una fuerte atenuación en las capas altas, recibiendo menos radiación los estratos inferiores (Gijzen, 1995).

La *radiación difusa* es la que proviene de diversas direcciones al haber sido reflejada, desviada o dispersados los rayos solares por las nubes, la turbidez atmosférica, los accidentes geográficos o simplemente difundidos al atravesar un material transparente o traslúcido (plástico de invernadero) (Hernández *et al.*, 2001). La radiación difusa induce un menor efecto de sombreo al interior de la vegetación, un nivel de radiación más uniforme en cada estrato (Roderick *et al.*, 2001).

La suma de la radiación directa y de la radiación difusa constituye la radiación total o global (Hernández *et al.*, 2001). La cantidad de radiación interceptada y su penetración en el cultivo varían con la proporción de radiación directa y radiación difusa (Norman, Arkebauer, 1991).

Desde el punto de vista de los cultivos, la radiación directa es mayoritariamente recibida por las partes altas de éstos sombreando las partes bajas que disponen de menos luz, por lo que queda limitada su capacidad productiva. La radiación difusa, no obstante, es “adireccional”, penetra mejor entre el cultivo, en especial entre las

hojas inferiores. La presencia de nubes reduce notablemente la cantidad de radiación (luz) difusa en detrimento de la directa (Hernández *et al.*, 2001).

Las radiaciones solares que inciden sobre la cubierta de un invernadero son de varios tipos: ultravioleta, visible, fotosintética, infrarroja corta, infrarroja larga o calorífica. Los cuatro primeros tipos forman parte de la radiación solar y el último es la radiación térmica que emite un cuerpo caliente como por ejemplo el suelo del invernadero después de absorber calor durante el día, la propia estructura metálica y las plantas.

La energía solar es el factor ambiental que ejerce una mayor influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, afectando, entre otros procesos biológicos, la fotosíntesis, que transforma la energía solar en energía química utilizando luz con longitudes de onda entre 400 y 700 nm. Esta porción del espectro se conoce como radiación fotosintéticamente activa (PAR) y se encuentra dentro de la radiación visible, situada entre la radiación ultravioleta (UV) y la radiación infrarroja (IR) (Ayala, 2012).

La radiación PAR representa entre el 45-50 % de la radiación total recibida y es la de mayor calidad para el crecimiento, desarrollo de los cultivos y como fuente de la fotosíntesis, es uno de los principales determinantes de la producción (Castilla, 2004).

4.5.2. Radiación solar en invernaderos

La radiación solar es la fuente más importante de energía y tiene relación prácticamente con todos los procesos fisiológicos de la planta como la absorción de agua y elementos minerales por las raíces, la transpiración por las hojas y la fotosíntesis.

La respuesta de las plantas a la radiación recibida depende de:

- La intensidad lumínica, es la cantidad de energía radiante.
- La calidad de la luz es la distribución espectral de la radiación.
- Las horas luz/día que se refiere al fotoperiodo.

En los sistemas de producción bajo invernadero, para un adecuado manejo de la radiación solar es necesario analizar los factores que pueden modificar la calidad y la

cantidad de la radiación que llega a las plantas, así como los requerimientos de luz de cada cultivo o variedad. Por tanto, el control de la incidencia de luz es factor de gran importancia en el éxito de los cultivos. (Mavi, Tupper, 2004).

La cantidad de energía solar que llega a un punto de la superficie terrestre depende de la inclinación con que los rayos solares inciden sobre la superficie, ya que cuanto más perpendiculares sean dichos rayos (a la superficie terrestre), mayor será la intensidad de radiación solar. La mayor o menor perpendicularidad de los rayos solares varía con la situación del sol, que depende de la localización geográfica (latitud del lugar), de la época del año en la que nos encontremos y de la hora del día (Hernández *et al.*, 2001).

En un día nublado, la radiación solar es, en su mayor parte o en su totalidad, radiación difusa. En un día soleado, prevalece la radiación directa sobre la difusa si el sol tiene una cierta elevación sobre el horizonte. Cuando la elevación del sol es pequeña, en un día soleado, puede prevalecer la radiación difusa (Hernández *et al.*, 2001).

El manejo de la radiación solar es muy diverso y depende principalmente de la cantidad y calidad de radiación solar que se presenta en la zona de producción. Según Castellanos (2009), en Almería la radiación solar acumulada (media diaria) medida en el exterior del invernadero durante 12 meses, fue muy variable, haciendo que el manejo de la radiación sea específico de acuerdo a la época del año. Sin embargo, en Holanda la radiación medida fue muy baja, siendo limitante para el desarrollo de los cultivos en gran parte del año.

Las zonas costeras mediterráneas tienen una gran cantidad de días soleados, incluso en invierno, lo que las hace potencialmente más productivas que otras zonas con menor número de horas de sol. Sin embargo, Durante los meses de invierno, la luz constituye generalmente el principal factor limitante de la producción (Hanan, 1998), y aunque tenemos días soleados, estos no son lo suficientemente largos (horas de sol limitadas) y la intensidad con la que llega la radiación en estas épocas está por debajo de las exigencias de los cultivos hortícolas (Hernández *et al.*, 2001).

De forma general, es necesario generar estrategias que permitan incrementar la calidad y cantidad de luz dentro del invernadero, para que esta no sea un factor limitante en la producción.

La radiación es un elemento muy importante para el control climático del invernadero porque además afecta de manera significativa a la temperatura. La temperatura del aire del interior del invernadero y de las propias plantas incide de manera directa sobre el proceso de fotosíntesis, de modo que el equilibrio respiración-transpiración se ve afectado, por lo que elevadas temperaturas, provocan pérdidas de producción y calidad.

4.5.3. Efecto de la radiación en pimiento, berenjena y lechuga

La radiación solar es la principal fuente de entrada energética al invernadero, la mayor parte es absorbida por la planta; un porcentaje menor lo absorbe el suelo y algo la estructura del invernadero.

La radiación solar no solo afecta al desarrollo de la planta, sino que también puede afectar al crecimiento y la calidad de los frutos (López, Gaitán, 2005).

Los desórdenes fisiológicos, también llamadas enfermedades abióticas son una serie de anomalías en distintas estructuras de la planta, generalmente debidas a condiciones climáticas adversas entre las que se encuentra una baja o alta radiación solar interaccionando con otros factores.

El punto de saturación lumínica (expresada en densidad del flujo de fotones; DFF) es característico para cada especie vegetal y es el punto en el cual la planta experimenta la mayor eficacia fotosintética. Sin embargo, en el caso de una DFF constante, el estrés lumínico, también, puede producirse cuando la tasa fotosintética disminuye por situaciones como la sequía, salinidad, temperaturas extremas o deficiencia nutricional (Tadeo, Gómez-Cadenas, 2008).

La intensidad, al igual que la calidad de energía solar va a variar dependiendo del día, la estación del año y la región. En los meses de invierno, la luz constituye generalmente el principal factor limitante de la producción. Por el contrario, en verano

supone un incremento de la temperatura en el interior del invernadero y del propio cultivo (López, Gaitán, 2005).

A mayor luminosidad en el interior del invernadero se debe aumentar la temperatura, la humedad relativa y el CO₂, para que la fotosíntesis sea máxima; por el contrario, si hay poca luz pueden descender las necesidades de otros factores.

La baja intensidad lumínica reduce la fotosíntesis neta, implicando mayor competencia por los fotoasimilados lo que afecta al desarrollo y la producción de la planta (Nuez, 1995). Una radiación solar baja provoca alargamiento de los entrenudos, tallos más delgados, hojas anchas y finas y escaso desarrollo del sistema radical (Coletto, 1995).

La radiación solar se encuentra altamente ligado a la temperatura, es luz transformada en energía y la energía a su vez en calor.

El exceso de temperatura causa daño en la morfología y en los distintos procesos fisiológicos de las plantas, como son la formación floral, la quemadura de hojas, la mala calidad del fruto, exceso de transpiración, el acortamiento de la vida del cultivo, la reducción de la fotosíntesis neta debido al exceso de respiración, etc. (Baudoin, 2002).

El pimiento es una solanácea muy exigente en luminosidad, tanto en su desarrollo vegetativo, principalmente cuando es joven, como en floración; esta planta admite temperaturas más altas cuando aumenta la luminosidad (Camacho, 2003).

Sin embargo, las altas temperaturas en los invernaderos durante verano, producen una reducción en el cuajado de los frutos de pimiento y como consecuencia hay un descenso del rendimiento y de la calidad de las producciones (López- Marín *et al*, 2010).

Cuando hay poca luz ocasionada por periodos nubosos, por el uso de dobles techos, y/o encalados de las cubiertas, los entrenudos de los tallos de pimiento se alargan demasiado y quedan muy débiles para soportar una cosecha óptima de frutos, en estas condiciones la planta florece menos y las flores son más débiles (Camacho, 2003).

La berenjena es una planta muy exigente en luminosidad sobre todo en las fases de semillero, floración y fructificación. Requiere de 10 a 12 horas de luz, por lo que en días cortos (otoño-invierno) es necesario aprovechar al máximo las horas de luz para evitar el aborto de flores y un desarrollo vegetativo demasiado exuberante (Bohm, 1990).

La falta de luz puede provocar ahilamiento en el semillero, malformación de flores y hojas, deficiente fecundación y frutos deformes, pequeños y con pulpa esponjosa (Serrano, 2013).

Para corregir la luminosidad se pueden usar plásticos transparentes incoloros que aumentan la luminosidad, sombreo en caso de exceso de luminosidad y labores culturales como poda de formación y de hojas. El entutorado de la berenjena es imprescindible ya que los tallos se parten por el peso de los frutos; también se mejoran la ventilación y la luminosidad y por tanto, la floración y el cuajado (Serrano, 2013).

Para el buen crecimiento y calidad máxima, la berenjena, requiere temperaturas diurnas óptimas de 22°C a 26°C, y nocturnas de 18 a 22°C. Su cero vegetativo se establece en 9-10°C, temperaturas por debajo de 11-12°C pueden provocar la caída de flores, deformidades y falta de color en el fruto. La planta se ve afectada por las heladas con temperatura inferior a 0°C.

Algunos autores consideran que 35°C es la máxima letal, aunque hay otros que consideran 45°C como la máxima biológica; en cualquier caso estamos ante una planta que resiste muy bien las altas temperaturas.

La lechuga, es especialmente sensible a la luz. La intensidad y duración de la luminosidad pueden llegar a ser factores limitantes de noviembre a febrero produciéndose un crecimiento lento y un aumento del periodo de acogollado. Además en régimen de baja iluminación los nitratos se acumulen en las hojas pudiendo causar trastornos fisiológicos.

La relación entre luz y temperatura influye directamente en la formación del cogollo. Con luminosidad reducida (días cortos y débil intensidad luminosa), las temperaturas diurnas elevadas retrasan el acogollado, en tanto, que las bajas lo favorecen. Por el

contrario, en situación de fuerte luminosidad, las temperaturas diurnas del orden de 20°C, se acelera el acogollado favoreciendo el desarrollo en anchura de las hojas (Halsouet, Santiago, 2005).

Más allá del umbral crítico de duración de luminosidad, las temperaturas elevadas favorecen la inducción floral y perturban el acogollado, si bien los efectos varían según la variedad, cada una tiene unos requerimientos distintos de luz y temperatura (Halsouet, Santiago, 2005).

Las temperaturas demasiado elevadas producen quemaduras de los extremos de las hojas, también llamado “tipburn”. Las hojas se tornan amargas por la acumulación de látex y se forman cabezas poco compactas. Las temperaturas muy bajas y heladas de escasa magnitud no producen daños en plantas jóvenes, sin embargo, se muestran muy sensibles a partir del inicio del acogollado, ocasionando daños en hojas externas e incluso en las internas que favorecen la aparición de enfermedades.

La coloración, tanto en intensidad como en distribución, consecuencia del contenido en antocianos y clorofila, es un factor de calidad importante, además de mejorar el valor nutricional de las lechugas. La coloración roja va asociada al contenido en antocianos y polifenoles, que son compuestos muy beneficiosos para la salud. Esta coloración es más intensa en función de la variedad, pero también de la luz y de la temperatura. Altos niveles de radiación solar y bajas temperaturas mejoran la concentración de pigmentos en las hojas de lechuga (Marhuenda, García, 2016).

4.6. MALLAS FOTOSELECTIVAS

La producción hortícola en Almería bajo invernadero se ha caracterizado por el empleo de estructuras sencillas y de bajo coste (Lorenzo, 1998). En estos invernaderos el control climático se reduce a la ventilación natural del invernadero para controlar las condiciones extremas de humedad o temperatura (Abreu *et al.*, 1994). Pero la ventilación natural no es suficiente para extraer el exceso de energía durante los días soleados de verano (Baille, 1999). Es por esto por lo que los agricultores recurren al sombreado mediante el blanqueo de la cubierta. Sin embargo, el blanqueo presenta una serie de inconvenientes como son la permanencia en el invernadero durante días nublados, la falta de homogeneidad en su aplicación o la falta de selectividad que

transmite aproximadamente el mismo porcentaje de radiación fotosintéticamente activa (PAR) que infrarrojo cercano, que es la que transmite principalmente el calor (Montero *et al.*, 1998).

Hasta hace poco tiempo se utilizaba el encalado como único método de control de la radiación solar que daba como resultado una importante reducción de la temperatura. El empleo de mallas de sombreo es una alternativa al encalado muy eficaz y combinadas con una buena ventilación reducen la temperatura dentro de los invernaderos, a la vez que favorecen la transpiración de las plantas. Las mallas sombra causan distintos efectos sobre el microclima de los invernaderos, afectando directamente a factores como la radiación, la humedad relativa y la temperatura.

Existen diferentes tipos de mallas de sombreo para invernadero y su elección debe ser adecuada a cada tipo de cultivo y a las necesidades de sombreo para cada fase de desarrollo del mismo.

Las mallas sombra fotoselectivas están diseñadas para filtrar selectivamente diversos componentes espectrales de la radiación solar (rayos UV, PAR e infrarrojo) y/o transformar la luz directa en luz dispersa (Shahak *et al.*, 2004). Deben transmitir la mayor cantidad de radiación fotosintéticamente activa posible, y reflejar la máxima cantidad de radiación de infrarrojo corto proveniente del sol (Valera *et al.*, 2014).

Las mallas sombra están fabricadas de distintos materiales como polietileno, polipropileno, poliéster o derivados acrílicos y son elaboradas con distintos grados de transmisión, absorción, porosidad al aire y reflexión de la radiación solar. El grado de sombreo que emite una malla sombra se escoge de tal manera que en la hora de mayor intensidad lumínica las plantas reciban por lo menos una cantidad de radiación cercana a su punto de saturación.

Las mallas sombra pueden ser de diferentes colores lo que les permite absorber la luz solar o reflejarla. Las mallas sombra negras o aluminadas son las más utilizadas para el control de la luz y temperatura en la horticultura protegida. Las primeras son más utilizadas por tener un menor coste, pero son poco selectivas a la calidad de la luz; es decir, sombrean por igual en toda la banda del espectro, haciendo que aumente la temperatura debajo de la misma, factor a considerar en zonas donde la temperatura

sea muy elevada. En la aluminada, parte de la luz es reflejada y dispersada, así que absorben menos radiación y se calientan menos (Valera *et al.*, 2014).

Por eso, recientemente se ha iniciado el desarrollo de mallas plásticas de sombreo con propiedades ópticas especiales, con la finalidad de mejorar el uso de la radiación en los cultivos agrícolas (Valera *et al.*, 2014).

Son mallas sombra de colores, cada una de ellas modifica específicamente el espectro de la luz filtrada en las regiones ultravioleta, visible y rojo lejano, y/o intensifica su contenido relativo de dispersión de luz difusa, y/o afecta sus componentes térmicos (región infrarroja), en función de los aditivos cromáticos del plástico y el diseño del tejido (Valera *et al.*, 2014). Pueden ser rojas, verde y azul o de colores neutros como perla, blanco o gris, con absorción en las bandas espectrales más largas o más cortas en el rango de luz visible.

Las mallas de color verde modifican el espectro de luz que reciben las plantas por lo que activan la función clorofila intensificando el color verde, sin embargo, al ser un color oscuro su efecto es el mismo que en la negra. La malla de color blanca reduce notablemente la temperatura debajo de la misma, por lo que nos permite controlar el calor en las zonas de mayor incidencia de los rayos del sol. La malla de color gris plata, sin ser una malla aluminada refleja una enorme cantidad de luz sobre las plantaciones.

Las mallas de colores pueden fomentar la estimulación diferencial en la fotosíntesis y la fotomorfogénesis, procesos que tienen efecto sobre el crecimiento del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y síntesis de metabolitos secundarios.

El empleo de las mallas de sombreo tiene una serie de ventajas como:

- Bloqueo de la radiación directa: cuando la radiación solar es intensa, la malla impide que la radiación directa dañe las plantas e impide que el suelo acumule energía calorífica. Como consecuencia, disminuye la temperatura dentro del invernadero y la humedad relativa aumentará mejorando las condiciones microclimáticas del invernadero.

- Penetración de luz difusa: la luz recibida del exterior atraviesa las fibras del tejido de la malla y se distribuye de forma difusa alrededor de las plantas. La luz difusa contribuye al proceso de fotosíntesis de las plantas y calienta menos que la radiación directa del sol.

Existen otras ventajas derivadas de las anteriores como optimización del microclima en el interior del invernadero, limitación de la acción de los rayos solares, disminución de la pérdida de humedad, protección contra temperaturas extremas, ahorro de agua y fertilizantes y prevención de algunas enfermedades.

Según Ayala *et al.* (2015) los rendimientos comerciales y con calidad de exportación son mayores en el cultivo de pimiento cuando se cultivan bajo mallas sombras de colores (aperlada, roja, verde y azul) comparados a los que se obtienen con malla negra. En el mismo estudio realizado no encontró diferencias significativas entre los distintos colores de mallas sombra, aunque el color aperlado tuvo ligera superioridad en cuanto a rendimiento comercial y número de frutos por planta. Por tanto, para el cultivo de pimiento el uso de mallas de colores, independientemente de su color, ayuda a mejorar su producción.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

5.1.1. Localización del experimento

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad de Almería, España, ubicada en las coordenadas 36°49'45" N y 2°24'16" O.

5.1.2. Tipo y dimensión

Para la realización del experimento se construyeron un total de nueve mallas fotoselectivas, utilizando tres colores (verde, negro y blanco). Por cada color se construyeron tres mallas sombras, cada color representa un tratamiento y cada malla por color, representa una repetición.

Las características estructurales de las mallas sombra son las siguientes:

- Estructura metálica de 0,70 m de alto, 1.0 m de ancho y 1.0 m de largo (véase figura 1).
- La cubierta de la estructura metálica era de malla sombra coloreada (verde, negra y blanca) de 6 x 7 hilos/cm² (véase figura 2).
- Se utilizaron 4 barras de metal por malla sombra en forma de “U” unidas con alambre de acero para evitar su deformidad y disminuir su movilidad.
- La capacidad de la malla era de hasta 45 macetas de 0,5 L por cada repetición.



Figura 1. Detalle de la estructura de la malla sombra

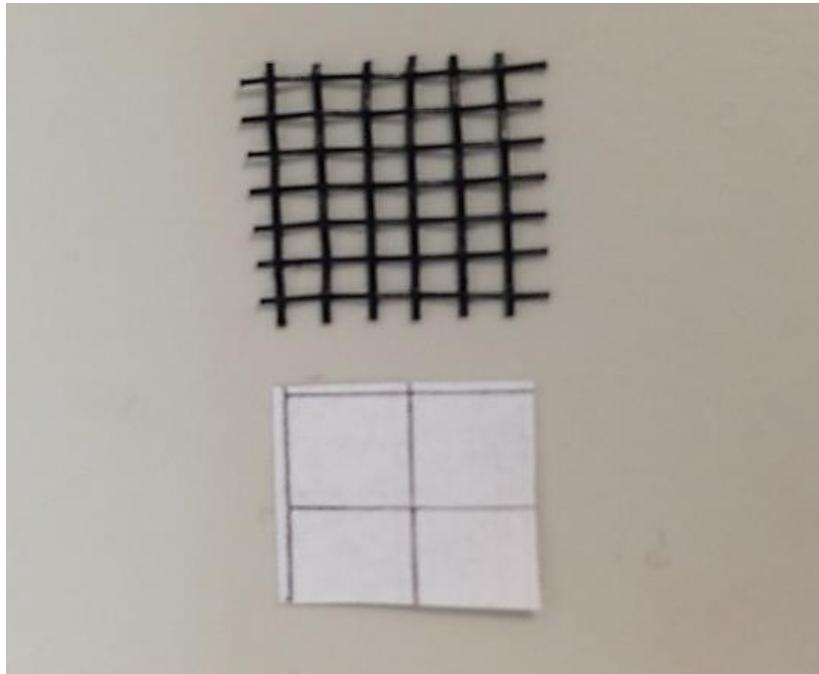


Figura 2. Detalle de la cubierta de la malla sombra

La colocación de las mallas sombra fue dentro del campus ubicado en sentido norte sur, en la azotea de un edificio donde se distribuyeron completamente al azar en un arreglo a tres bolillos. El experimento consta de nueve casas sombras y, debido al espacio requerido las nueve fueron separadas en dos partes, cinco y cuatro, quedando entre ellas una serie de aparatos y construcciones.

5.2. MATERIAL VEGETAL Y DISTRIBUCIÓN

El material vegetal empleado en el proyecto de investigación fueron variedades de pimiento cv. Soberano, lechuga cv. Astun y berenjena cv. Cristal.

Se utilizó fibra de coco como sustrato, pues es el más utilizado en la zona por su bajo coste, su alta capacidad de retención de agua y alta capacidad de intercambio catiónico. Dicho sustrato se concentró en contenedores de 0,5 L, dentro de los cuales se colocó una sola planta (figura 3).



Figura 3. Detalle de las macetas de 0,5 L empleadas en el ensayo

Dentro de la malla sombra se colocaron las plantas en bloques, tomando cómo bloque 14 macetas en dos columnas separadas (figura 4). El arreglo por medio de bloques en el experimento se realizó con el fin de disminuir al máximo el error experimental.

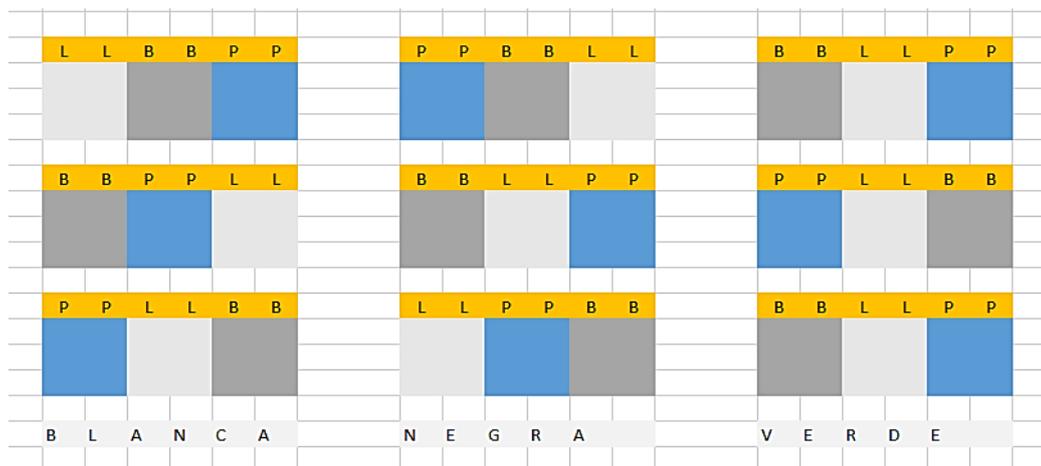


Figura 4. Bloqueo por especie y color de malla

Para este experimento se utilizaron un total de 126 plantas por especie, por cada casa sombra. Se introdujeron 14 macetas por especie, dando una densidad de 42 plantas por casa sombra (figura 5) y un total de 378 plantas en el experimento.



Figura 5. Distribución dentro de la casa sombra

Las plántulas del experimento se obtuvieron de una casa comercial y fueron trasplantadas a las mallas con 7 hojas verdaderas en pimiento, 7 en lechuga y 5 en berenjena. La duración del experimento fue de 30 días, tomando cómo indicador de corte cuando las plantas se entrelazaban entre ellas.

5.3. PARÁMETROS DE ESTUDIO

Para evaluar el crecimiento de las plantas en ambos experimentos se midieron los siguientes parámetros:

- Altura (cm).
- N° de hojas.
- Diámetro del tallo (mm).
- Longitud raíz (cm).
- Grosor hoja (mm).

- Peso fresco de tallo, hoja y raíz (g).
- Peso seco de tallo, hoja y raíz (g).

5.3.1. Limpieza y corte de plántulas

Se lavaron las plantas para eliminar los restos de sustrato de las raíces. Tras el lavado, las muestras se secaron en papel absorbente para proceder a la evaluación de los diferentes parámetros de crecimiento. Seguidamente se separaron las raíces de los tallos para hacer las mediciones correspondientes.

5.3.2. Evaluación de los parámetros de crecimiento

Una vez realizadas las mediciones respectivas, se introdujeron 72 horas a una cámara de secado a 120°C. Transcurrido este tiempo se sacó el material vegetal de la estufa y se determinó el peso seco por cada órgano de la planta.

5.3.3. Tratamiento de los resultados

Los resultados obtenidos en cada una de las especies se compararon con los tres colores y se realizó un análisis de varianza, con LSD al 95% y la correspondiente comparación de medias por medio ANOVA Simple del programa Statgraphics Centurion® XVI.II.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se recogen los resultados de los parámetros de crecimiento analizados de las plantas, peso fresco y seco, además de la interpretación de los mismos, del ensayo llevado a cabo con tres especies de cultivo en tres mallas sombras, siguiendo la metodología descrita en el apartado anterior.

6.1. EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE PIMIENTO BAJO PRODUCCIÓN EN MALLAS FOTOSELECTIVAS

Las medidas de los factores de crecimiento de peso fresco y seco para cada órgano de la planta así como el peso fresco y seco total son las medias obtenidas de 14 plantas por cada tratamiento.

Tabla 2. *Parámetros de crecimiento de peso fresco (g/m²) de malla de pimiento en función de su color.*

	Total	Hoja	Tallo	Raíz
Negra	810 a	335 a	200 a	274 b
Verde	833 a	346 a	196 a	291 b
Blanca	833 a	314 a	170 b	349 a

Letras minúsculas indican diferencias significativas entre las mallas fotoselectivas evaluadas a una prueba LSD al 95%.

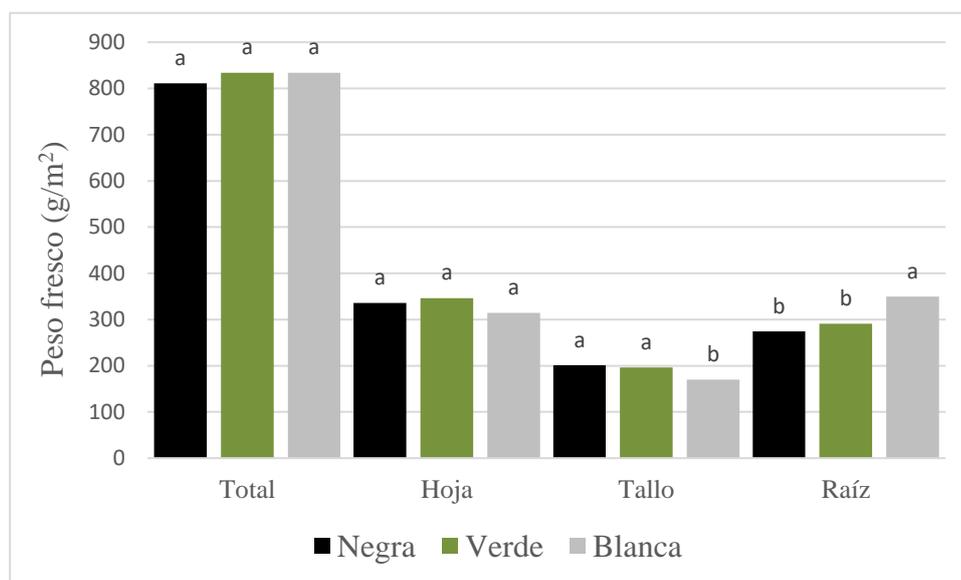


Figura 6. Peso fresco de los órganos de planta de pimiento

Al comparar cada color de malla, los resultados indican que no existen diferencias significativas de peso fresco total entre los tres colores de malla. De igual forma, el

Evaluación del efecto de la intensidad de mallas fotoselectivas en cultivo sin suelo

crecimiento de las hojas no presentó diferencias significativas entre las diferentes mallas.

En las mallas de color más oscuro, verde y negra el peso fresco de la raíz ha sido menor y se observan diferencias significativas con respecto a la medida obtenida en la malla de color blanca. Esto fue debido probablemente a la menor temperatura obtenida debajo de la malla blanca que ha permitido controlar el calor y como consecuencia un mejor desarrollo del sistema radical de la planta de pimiento.

El crecimiento del tallo ha sido mayor en las mallas de color verde y negra y existen diferencias significativas entre estos colores respecto a la malla de color blanca.

Tabla 3. *Parámetros de crecimiento de peso seco (g/m²) de malla de pimiento en función de su color.*

	Total	Hoja	Tallo	Raíz
Negra	99,48 a	44,00 a	29,72 a	25,76 a
Verde	105,02 a	47,12 a	29,38 a	28,52 a
Blanca	101,76 a	44,52 a	26,08 b	31,16 a

Letras minúsculas indican diferencias significativas entre las mallas fotoselectivas evaluadas a una prueba LSD al 95%.

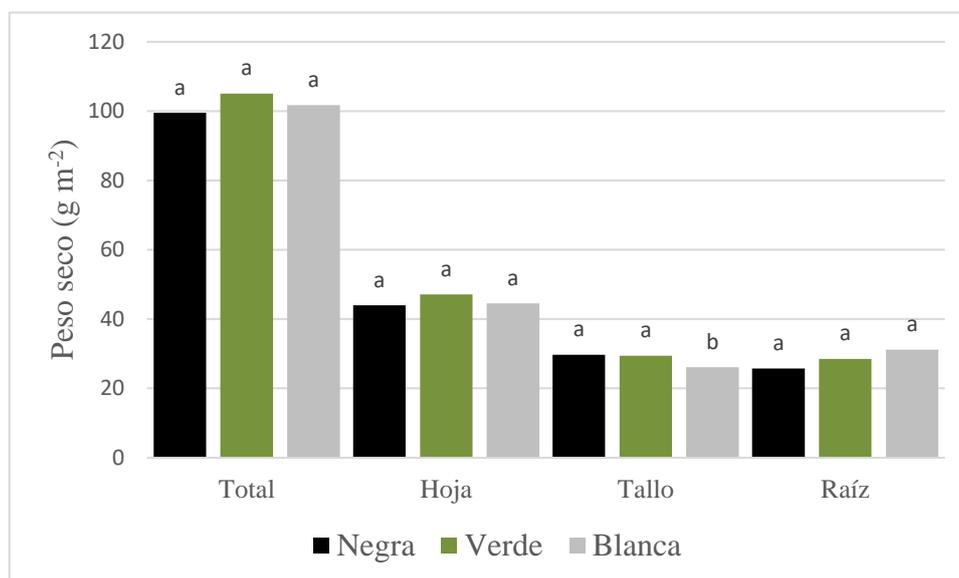


Figura 7. Peso seco de los órganos de planta de pimiento

Los resultados indicaron que no existen diferencias significativas entre el peso seco total de las tres mallas sombras sometidas a estudio.

Podemos observar que si existen diferencias entre los datos de peso seco del tallo de la malla de color blanca y los de las mallas de color verde y negra.

Los datos de la tabla 2 muestran diferencias significativas en el peso fresco de la raíz pero al someter esta parte de la planta al tratamiento de secado, el peso seco nos indica que no existen diferencias significativas entre los diferentes colores de malla.

6.2. EVALUACIÓN DE BERENJENA BAJO PRODUCCIÓN EN MALLAS FOTOSELECTIVAS

Las medidas de los factores de crecimiento de peso fresco y seco para cada parte de la planta así como el peso fresco y seco total son las medias obtenidas de 6 plantas por cada repetición y 3 repeticiones por tratamiento.

Tabla 4. *Parámetros de crecimiento de peso fresco (g/m²) de malla de berenjena en función de su color.*

	Total	Hoja	Tallo	Raíz
Negra	953,34 a	484,26 a	225,52 a	243,56 b
Verde	1095,98 a	531,96 a	246,60 a	317,96 a
Blanca	1041,22 a	461,62 a	214,30 a	365,30 a

Letras minúsculas indican diferencias significativas entre las mallas fotoselectivas evaluadas a una prueba LSD al 95%.

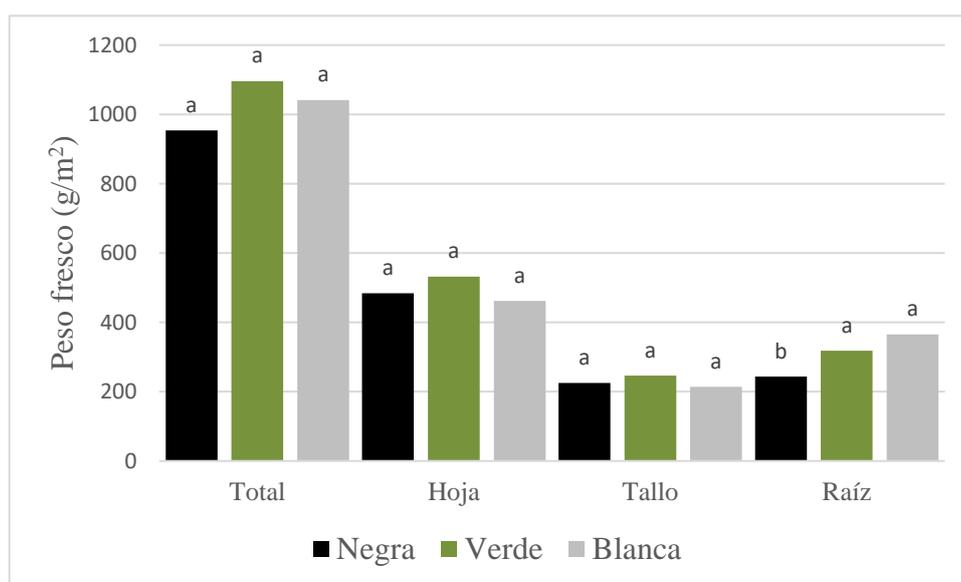


Figura 8. Peso fresco de los órganos de planta de berenjena

Los resultados indicaron que existen diferencias significativas para el peso fresco de raíz entre la malla de color negra y las mallas blanca y verde.

El crecimiento de la raíz de las plantas en las mallas negras fue menor debido probablemente a la menor radiación provocando una menor temperatura del sustrato.

Evaluación del efecto de la intensidad de mallas fotoselectivas en cultivo sin suelo

No se observaron diferencias significativas en el crecimiento del tallo y hoja entre las tres mallas sometidas a estudio, así como tampoco en el peso fresco total.

Bohm (1.990) define a la berenjena como una especie exigente en luminosidad sobre todo en fases de semillero.

Tabla 5. *Parámetros de crecimiento de peso seco (g/m^2) de malla de berenjena en función de su color.*

	Total	Hoja	Tallo	Raíz
Negra	126,94 a	59,24 a	40,24 a	27,46 b
Verde	139,74 a	65,48 a	38,78 a	35,48 ab
Blanca	148,72 a	75,28 a	39,44 a	37,00 a

Letras minúsculas indican diferencias significativas entre las mallas fotoselectivas evaluadas a una prueba LSD al 95%.

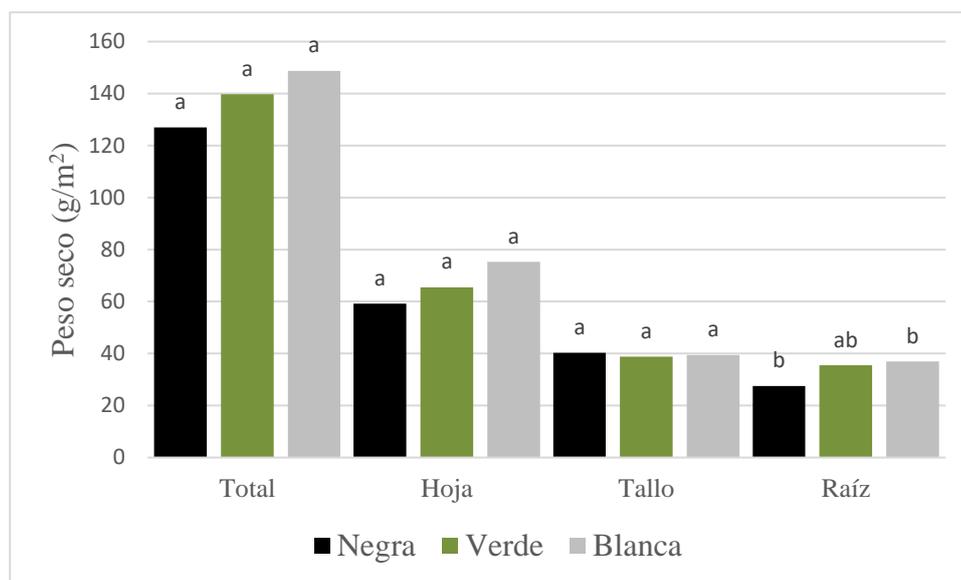


Figura 9. Peso seco de los órganos de planta de berenjena

Los valores indicaron que el color de la malla sombra no influye en el peso seco total de las plantas de berenjena. En los pesos de tallo y hoja tampoco se obtuvieron diferencias significativas entre los distintos colores de malla.

Sin embargo, si se presentaron diferencias significativas entre la malla de color negra y blanca respecto al peso de la raíz. En la malla verde se obtuvieron pesos de raíz de rango medio, fueron mayores que en la malla negra pero menores que la malla blanca.

El color de la malla no sería un factor determinante para el desarrollo vegetativo del cultivo de berenjena aunque si afectaría al desarrollo del sistema radical.

6.3. EVALUACIÓN DE LECHUGA BAJO PRODUCCIÓN EN MALLAS FOTOSELECTIVAS

Las medidas de los factores de crecimiento de peso fresco y seco para cada parte de la planta así como el peso fresco y seco total son las medias obtenidas de 6 plantas por cada repetición y 3 repeticiones por tratamiento.

Tabla 6. Parámetros de crecimiento de peso fresco (g/m^2) de malla de lechuga en función de su color.

	Total	Hoja	Tallo	Raíz
Negra	1397,98 a	1030,00 a	66,24 a	301,74 a
Verde	1288,64 a	918,96 b	64,46 a	305,22 a
Blanca	1332,18 a	1030,66 a	67,62 a	233,90 b

Letras minúsculas indican diferencias significativas entre las mallas fotoselectivas evaluadas a una prueba LSD al 95%.

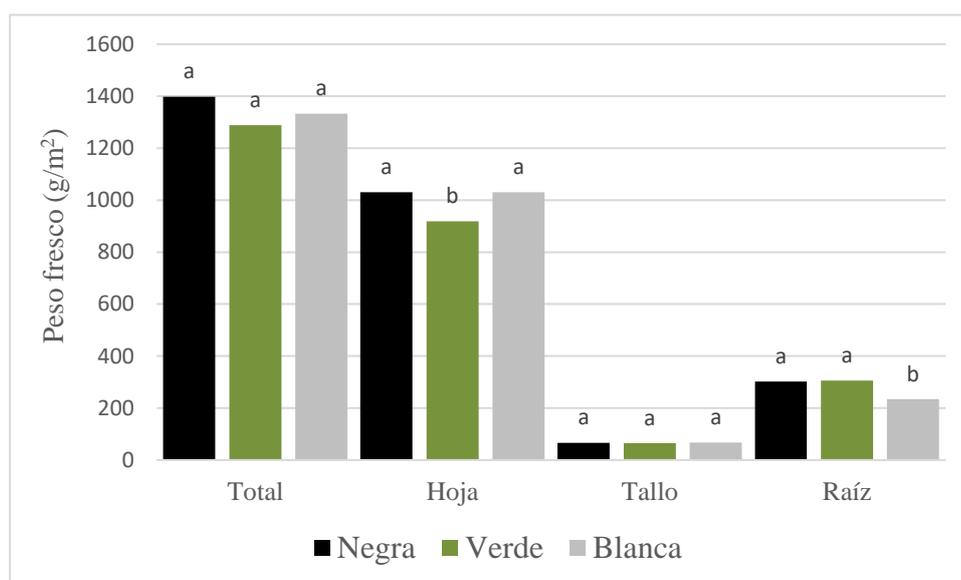


Figura 10. Peso fresco de los órganos de planta de lechuga

Los resultados indicaron que no existieron diferencias significativas entre los distintos colores de malla para el peso fresco total en lechuga.

No hubo diferencias significativas para el peso fresco del tallo entre los distintos colores de malla. Sin embargo, en raíz y hoja si se presentaron diferencias significativas entre las mallas de color verde y negra y la malla de color blanca.

En las mallas de color blanco y negro se obtuvieron valores mayores de peso de la hoja mientras que bajo la malla de color verde este peso fue menor. La primera etapa de desarrollo del cultivo de la lechuga no encuentra diferencias de crecimiento de las hojas con colores de malla negra o blanca, sin embargo, se ve afectada por la malla de color verde.

Los datos de peso en raíz fueron mayores en las mallas de color más oscuras que en la malla blanca. Las mallas verde y negra favorecieron el crecimiento de la raíz con respecto a la malla de color blanca.

Tabla 7. *Parámetros de crecimiento de peso seco (g/m^2) de malla de lechuga en función de su color.*

	Total	Hoja	Tallo	Raíz
Negra	74,26 a	47,06 ab	4,60 a	22,60 a
Verde	59,66 a	35,72 b	4,84 a	19,10 ab
Blanca	73,06 a	51,76 a	4,92 a	16,38 b

Letras minúsculas indican diferencias significativas entre las mallas fotoselectivas evaluadas a una prueba LSD al 95%.

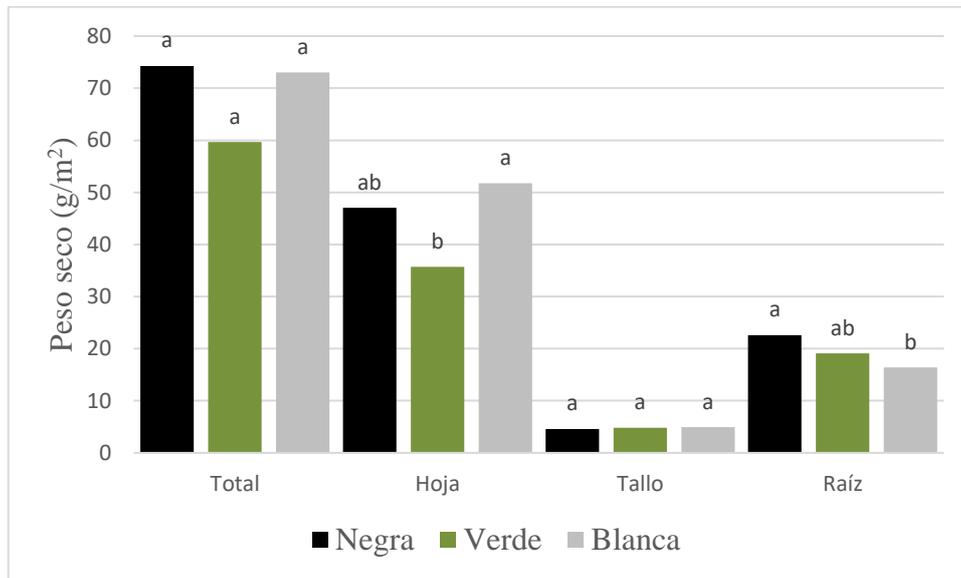


Figura 11. Peso seco de los órganos de planta de lechuga

No hubo diferencias significativas para el peso seco del tallo entre los distintos colores de malla.

Los resultados indicaron que existen diferencias significativas en el parámetro de crecimiento de la hoja de lechuga entre las distintas mallas, siendo menor en la malla de color verde, mientras que el dato obtenido en la malla de color negra está en un intervalo intermedio de peso, estuvo por encima del peso en la malla de color verde y por debajo en la malla de blanca.

El sistema radical de lechuga se vio afectado por el color de la malla. Los resultados obtenidos para el peso seco de la raíz indican que si existen diferencias significativas entre los distintos colores de malla. En la malla negra se obtuvo el mayor peso de raíz mientras que bajo la malla blanca este peso fue menor. Las plantas desarrolladas en la malla verde obtuvieron pesos de raíz mayores que las desarrolladas en la malla blanca y menores que en la malla verde.

7. CONCLUSIONES

Las mallas fotoselectivas de color verde, negra y blanca, afectaron de forma diferente al desarrollo radical, el crecimiento del tallo y expansión foliar de las distintas especies de cultivo pimiento, berenjena y lechuga.

Las plantas de pimiento en las mallas negra y verde desarrollaron un menor sistema radical con respecto a la raíz de las plantas bajo la malla blanca que crecieron un 10% más. Sin embargo, la malla blanca afectó al crecimiento del tallo presentando un 13% menor que en las mallas verde y negra. En general, el color de la malla fotoselectiva no afectó al crecimiento total de las plantas de pimiento.

La malla de color negra influyó en el desarrollo del sistema radical de berenjena, obteniéndose un 14% menos en peso con respecto al obtenido en las mallas de color verde y blanca. El color de malla no influyó en el desarrollo de hoja y tallo ni en el crecimiento total de las plantas de berenjena.

El sistema radical de las plantas de lechuga creció un 11% menos bajo la malla blanca que sobre las mallas verde y negra. Sin embargo, los datos de peso seco en raíz muestran que bajo la malla negra fue mayor que en la blanca y verde y bajo la verde mayor que en la malla blanca. El crecimiento de la hoja bajo las mallas de color blanca fue un 12% y en la negra un 5% mayor que en la malla de color verde. El color de la malla no determinó diferencias en el crecimiento total de las plantas de lechuga.

Como conclusión de este proyecto podemos afirmar que el color de las mallas fotoselectivas, blanca, negra y verde no afectó al crecimiento y desarrollo de las plantas de pimiento, berenjena y lechuga en la primera etapa de su ciclo de vida.

Sin embargo, estudios recientes han demostrado el potencial de las nuevas tecnologías de las mallas fotoselectivas para el aprovechamiento de la radiación solar en los cultivos agrícolas que permiten mejorar la productividad, calidad y periodo de cosecha de cultivos agrícolas.

8. BIBLIOGRAFÍA

Abad, M.; Noguera, P.; Noguera, V.; Roig, A.; Cegarra, J.; Paredes, C. (1997). "Reciclado de residuos orgánicos y su aprovechamiento como sustratos de cultivo". Actas de horticultura 19. I Congreso Ibérico y III Nacional de Fertirrigación. SECH.

AbcAgro. (2002). El cultivo de la lechuga. Disponible en:
<http://www.abcagro.com/hortalizas/lechuga.asp>.

Abreu, P.E., Meneses, J.F., Monteiro, A.A. (1994). Response of non heated plastic covered greenhouse tomatoes during the cold season under different natural ventilation methods. Acta Horticulturae. 366: 195-200 pp.

ASERCA. (1999). La berenjena, una hortaliza desconocida en nuestro país, pero con enorme vocación exportadora. Revista Claridades Agropecuarias 72: 3-17 pp.

Ayala, F. (2012). Efecto que ocasionan las mallas sombra de colores en el crecimiento de hortalizas. Universidad autónoma de Sinaloa. Facultad de Agronomía.

Ayala, F., Partida, L., Velázquez, T.J., Díaz, T. (2015). Influencia de las mallas sombra. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

Baille, A. (1999). Greenhouse structure and equipment for improving crop production in mild winter climates. Acta Horticulturae. 491: 31-47 pp.

Baudoin, W.O. (2002). El cultivo protegido en clima mediterráneo. Estudio FAO Producción y protección vegetal. 90. Roma.

Baixauli, C., Aguilar, J. M. (2002). Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos. Ed. Generalitat Valenciana. Consejería de agricultura, pesca y alimentación: 1-110 pp.

Benton, J. JR. (1983). A Guide for the Hydroponic & Soilless Culture Growers. Timber Press. Portland, Oregon.

Berrios, M.E., Arredondo, B.C., Tjalling, H.H. (2007). Guía de Manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad Pimiento. *The Worldwide Business Formula, Crop Kit*. 1-104 pp.

Bohm, C. (1990). Cultivo de berenjena. Enciclopedia de la jardinería. Ediciones SUSAUTA. 130-134 pp.

Cajamar. (2019). Análisis de campaña hortofrutícola. Campaña 2018/2019. Servicio de Estudios Agroalimentarios.

Camacho, F. (2003). Técnicas de producción en cultivos protegidos. Instituto de Estudios de Cajamar Agrotécnicos. Madrid. 775 pp.

Carrillo, M.A. (2016). Evaluación agronómica de la salinidad del fertirriego en la producción y calidad de semillas de hortalizas. Trabajo fin de máster. Universidad de Almería. 1-15 pp.

Casaca, A.D. (2005). El cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.). Documento técnico. Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales. Proyecto de modernización de los servicios de tecnología agrícola. PROSMOTA. 12: 1-11 pp.

Castellanos, R.J.Z. (2009). Manual de producción de tomate en invernadero. Ed. Intagri. Celeya, Guanajuato. México. 458 pp.

Castilla, N. (2004). Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo. Mundi-Prensa. Madrid. 462 pp.

Cockshull, K. (1998). The integration of plant physiology with physical changes in the greenhouse climate. *Acta Horticulturae*. 229: 113-123 pp.

Coletto, J.M. (1995). Crecimiento y desarrollo de las especies frutales. 2ª ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 168 pp.

Colonia. (2008). Estándares de calidad de lechuga romana. *Horticultura Argentina*. 29(68): 28-32 pp.

D'arcy, W.G. (1975). The Solanaceae: an overview. *Solanaceae. Newsl.* 2: 8-15 pp.

Delgado, J. (1999). El cultivo del pimiento en el levante almeriense. En: Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos. Caja Rural de Almería. 2: 15-51.

Dewitt, D., Bosland, P.W. (1996). Peppers of the World. An identification guide. Ten Speed Press. Berkeley, California. 240 pp.

FAO. (2011). Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>

FAO. (2016). Estadísticas de mercado de berenjena a nivel mundial.

FAO. (2019). Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT). Pimiento. Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción, 2019.

FAO. (2019). Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT). Berenjena. Análisis provincial de superficie, rendimiento y producción, 2019.

FEPEX. (2014). Estadísticas exportación e importación productos hortofrutícolas.

Gamayo, J. (1996). El cultivo protegido de pimiento. En: Pimientos. Compendios de horticultura 9. Ediciones de Horticultura, S.L. Reus (España). 33-39 pp.

Ganelevin, R. (2008). World-wide commercial applications of colored shade nets technology (Chromatinet[®]) Acta Horticulturae 770: 199-203 pp.

Gijzen, H. (1995). Crop Growth. Short-term crop responses. CO₂ uptake by the crop. In: Greenhouse climate control: An integrate approach. Ed. Bakker, J.C., Bot, G.P.A., Challa, H., Van der Braak, N.J. Wageningen Academic Publishers. Wageningen. 16-35 pp.

Halsouet, P., Santiago, M. (2005). La lechuga. Manual para su cultivo en agricultura ecológica. Monográficos Ekonekazaritza (3). 16 pp.

Hanan, J.J. (1998). Greenhouses: advanced technology for protected horticulture. CRC Press. Boca Ratón. Florida. 684 pp.

Heiser, C.B. (1976). *Peppers Capsicum (Solanaceae)*. In: The evolution of crops plants, N.W. Simmond. Ed. (London: Longman Press). 265-268 pp.

Hernández, J., Escobar, I, Castilla, N. (2001). La radiación solar en invernaderos mediterráneos. Revista Horticultura 157: 18-27.

INTAGRI (2017). Mallas de Colores en la Producción Hortícola. Serie Horticultura Protegida. Núm. 30. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.

Japón, J. (1977). La Lechuga. Hojas divulgadoras del Ministerio de Agricultura. Publicaciones de Extensión Agraria. Madrid. Nº 10/77 HD.

Junta de Andalucía (2010). Manual de estadísticas agrarias y pesqueras de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.

Khan, R. (1979). *Solanum melongena* and its ancestral forms. In: Hawkes, J.C., Lester, R.N., Skelding, A.D., (eds). The biology and taxonomy of the *Solanaceae*. Linnean Soc. Acad Press. Londres. 629-638 pp.

Linneo, C. (1753). Species plantarum. Impensis Laurentii Salvii, Stockholm, Suecia. 525 pp.

López, Y., Gaitán, G. (2005). Control climático en invernaderos. Revista agropecuaria. 879: 782-787.

López-Marín, J., Rodríguez C.M., Gálvez, A., Martínez, E., González, A. (2010). Influencia de la reducción solar en la calidad del fruto en un cultivo de pimiento en invernadero. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario. Murcia. 532-537 pp.

López-Marín, J., González, A., Pérez-Alfocea, F., Egea-Gilabert, C., Fernández, J.A. (2013). Grafting is an efficient alternative to shading screens to alleviate thermal stress in greenhouse-grown sweet pepper. Scientia Horticulturae. 149: 39-46.

Lorenzo, P. (1998). Los determinantes microclimáticos de la horticultura intensiva en el sur mediterráneo. En: Tecnología de invernaderos. II. Curso superior de especialización. Eds: J. Pérez, I.M. Cuadrado. DGIFA, FIAPA y Caja Rural de Almería. 25-44 pp.

Lorenzo, P. (2012). El cultivo en invernadero y su relación con el clima. Cuadernos de estudios agroalimentarios. CEA03. IFAPA.

Mallar, A. (1978). La Lechuga. Ediciones Hemisferio Sur. Buenos Aires. 61 pp.

Marhuenda, J.A., García, J. (2016). La lechuga. Cultivos al aire libre. Serie Agricultura. CAJAMAR CAJA RURAL

Mármol, J. (1991). Cultivo de la berenjena en invernadero. Madrid: Servicio de extensión Agraria.

Maroto, J.V. (2002). Horticultura Herbácea Especial. Madrid, Mundi-Prensa, 5ª edición.

Maroto, J.V., Baixauli, C. (2017). Cultivos hortícolas al aire libre: 510. Serie Agricultura CAJAMAR CAJA RURAL.

Mavi, H.S., Tupper, G.J. (2004). Agrometeorology: Principles and applications of climate studies in agriculture. Food Products Press. New York. 447 pp.

Milla, A. (1996). *Capsicum* de capsas, cápsulas: el pimiento. En: Pimientos. Compendios de horticultura 9. Ediciones de Horticultura, S.L. Reus (España). 21-31 pp.

Montero, J.I., Antón A., Muñoz, P. (1998). Refrigeración de invernaderos. En: Tecnología de invernaderos. II Curso Superior de Especialización Eds. Pérez-Parra y Cuadrado. 313-398 pp.

Morales-Payán, J.P. (1991). Efecto de la aplicación de ácido giberélico (GA3) a berenjena (*Solanum melongena* L.) "Jira" sobre su rendimiento y la longitud del fruto. Fersán Informa. Nº 59. Santo Domingo. 113-119 pp.

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

Noguera, P., Noguera, V., Abad, M., Puchades, R., Maquieira, A. (1999). Variación de la presentación de las propiedades físicas y químicas de residuos de fibra de coco comercializados como sustratos o componentes de sustratos de cultivo en el estado español. Actas de Horticultura 26. VIII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas, Murcia.

Norman, J.M. Arkebauer, T.J. (1991). Predicting canopy photosynthesis and light-Use efficiency from leaf characteristics. In: Modeling crop photosynthesis from biochemistry to canopy. CSSA Special Publication, 19. 75-94 pp.

Nuez, F. (1995). El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 793 pp.

Nuez, V.F., Gil, R.O., Costa, G.J. (1996). Cultivo de Pimiento, Chiles y Ajíes. Ediciones Mundi-prensa. Madrid. 607 pp.

Observatorio de Precios y Mercados de la Junta de Andalucía (2019). Sector hortícolas protegidos. Datos básicos de pimiento. Campaña 2018/2019.

Palomar, F. (1993). Fertirrigación de cultivos hortícolas en invernadero. Dirección General de Investigación, Tecnología y Formación Agroalimentaria y Pesquera. Servicio de Publicaciones y Divulgación. Junta de Andalucía.

Pressman, E., Moshkovitch, H., Rosenfeld, K., Shaked, R., Gamliel, B., Aloni, B. (1998). Influence of low night temperatures on sweet pepper flower quality and the effect of repeated pollination, with viable pollen, on fruit setting. Journal of horticultural and Biotechnology. 73 (1): 131-136.

Prieto, M., Peñalosa, J., Sarro, M. J., Zornoza, P., Gárate, A. (2003). Growth and nutrient uptake in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by the growing season. 362-365 pp. In: Proc Int Fert Soc & Dahlia Greidinger Symposium "Nutrient, Substrate and Water Management in Protected Cropping Systems." Izmir. 7-10 pp.

Reche, J. (1991). Cultivo de la berenjena en invernadero. MAPA.

Roderick, M.L., Farquhar, G.D., Berry, S.L., Noble, R.R. (2001). On the direct effect of clouds and atmospheric particles on the productivity and structure of vegetation *Oecologia*. 129:21-30 pp.

Ryder, E. J. (1999). Lettuce, endive and chicory. CABI Publishing. Reino Unido. 224 pp.

Ryder, E. J. (2002). The new salad crop revolution. In: Janick, J., Whipkey, A. (eds). Trends in new crops and new uses. ASHS Press. Alejandría. 408-412 pp.

Serrano, C. Z. (1978). Tomates, Pimientos y Berenjenas en Invernadero. Ministerio de Agricultura, Madrid, España. 107-145 pp.

Serrano, Z. (1996). Veinte cultivos de hortalizas en invernadero. Ed Zoilo Serrano, C. Sevilla 433-487 pp.

Serrano, Z. (2013). Prontuario del cultivo de solanáceas. Berenjena, pimiento, tomate y patata. Ed Zoilo Serrano Cermeño.

Tadeo, F.R., Gómez-Cadenas, A. (2008). Fisiología de las plantas y el estrés. En: Azcón-Bieto, J., Talón, M. (eds.). Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana de España. 29: 577-579 pp.

Urrestarazu, M. (2000). Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu, M. Manual de cultivo sin suelo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid: 51-94 pp.

Urrestarazu, M. (2004). Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu, M. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid: 3-37 pp.

Urrestarazu, M. (2004). Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu, M. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid: 113-158 pp.

Urrestarazu, M. (2004). Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. En: Urrestarazu, M. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid: 637-649 pp.

Urrestarazu, M. (2006). Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. En: Cultivos Sin Suelo. Ediciones de Horticultura S. L. (Reus, Tarragona): 23-42 pp.

Urrestarazu, M. (2015). Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid: 3-62 pp.

Urrestarazu, M. (2015). Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid: 65-105 pp.

Valera, D.L., Belmonte, L.J., Molina, F.D., López, A. (2014). Los invernaderos de Almería: Análisis de su tecnología y rentabilidad. Serie Económica. Cajamar Caja Rural.

Vavilov, N. I. (1992). Origin and geography of cultivated plants. Cambridge University Press. Reino Unido. 498 pp.

EVALUACIÓN DE EFECTO DE LA INTENSIDAD DE MALLAS FOTOSELECTIVAS EN CULTIVO SIN SUELO

Las características climáticas de los países de la zona mediterránea (altos valores de radiación solar y elevadas temperaturas) provocan que desde principios de la primavera hasta finales de otoño se produzcan temperaturas excesivas que afectan al rendimiento y a la calidad de los cultivos protegidos.

La producción hortícola en Almería bajo invernadero se ha caracterizado por el empleo de estructuras sencillas y de bajo coste, con un limitado control climático. En estos invernaderos el control climático se reduce a la ventilación natural para controlar las condiciones extremas de humedad o temperatura. Sin embargo, la ventilación natural no es suficiente para extraer el exceso de energía durante los días soleados de verano. Por ello, los agricultores recurren al sombreado mediante el blanqueo de la cubierta que presenta una serie de inconvenientes como la falta de selectividad que hace transmitir aproximadamente, el mismo porcentaje de radiación fotosintéticamente activa (PAR) y de infrarrojo cercano, que es la que transmite principalmente calor.

Una alternativa al encalado puede ser las mallas de sombreado. El uso de malla plástica para sombrear es una técnica empleada en la horticultura protegida para disminuir la intensidad de la radiación y evitar incrementos de temperatura durante periodos cálidos.

Por ello, se han desarrollado mallas plásticas de sombreado con propiedades ópticas especiales, como un nuevo enfoque para mejorar el uso de la radiación solar en los cultivos agrícolas. Las mallas sombra de color modifican específicamente el espectro de luz filtrada en las regiones ultravioleta, visible y rojo lejano, intensifica su dispersión (luz difusa) y afecta a sus componentes térmicos (región infrarroja), en función de los aditivos cromáticos del plástico y del diseño del tejido.

El presente trabajo evalúa el crecimiento y desarrollo de plantas de lechuga, pimiento y berenjena en cultivo sin suelo en los espectros de tres mallas fotoselectivas verde, negra y blanca.

El trabajo permitirá conocer comparativamente qué color de malla de sombreado es la más adecuada para la producción de cada especie. Para alcanzar el objetivo general, se plantean como objetivos específicos la valoración de distintos parámetros de crecimiento y peso en fase de plántulas de cada una de las especies.

