

Requerimientos fisiológicos y limitantes tecnológicas en el cultivo de pimiento dulce

Ludvik¹, B.; Giardina, E.²; Di Benedetto, A.^{2, 3*}

¹Casanova 390, Bahía Blanca (8000), Provincia de Buenos Aires.

² Facultad de Agronomía (UBA), Av. San Martín 4453 (C1417DSE), CABA.

³ Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP), Ruta 226, km 73,5 (B7620ZAA), Balcarce, Provincia de Buenos Aires

*Di Benedetto, A., Cátedra de Floricultura, FAUBA, Av. San Martín 4453, (C1417DSE), Ciudad Autónoma de Buenos Aires. E-mail: dibenede@agro.uba.ar

Recibido: 09/02/2017

Aceptado: 07/11/2017

RESUMEN

Ludvik, B.; Giardina, E.; Di Benedetto, A. 2017. Requerimientos fisiológicos y limitantes tecnológicas en el cultivo de pimiento dulce. Horticultura Argentina 36 (91): 122 - 152.

Existe una amplia oferta varietal en pimiento que permite satisfacer los requerimientos de la planta en diferentes situaciones ambientales y culturales. Sin embargo, la elección del genotipo a utilizar requiere de un conocimiento específico de las relaciones causales involucradas en el ambiente de cultivo. El costo comercial de la semilla de pimiento dulce es alto, mientras que la germinación es lenta y heterogénea. Estas características intrínsecas de la especie han obligado al productor a sustituir la siembra directa por el uso de bandejas multicelda, generando situaciones problemáticas adicionales relacionadas con el volumen de la celda y la calidad del sustrato utilizado. El crecimiento vegetativo también es lento y limitado por la tasa de expansión foliar. La

misma depende de procesos de desarrollo limitados por la temperatura y de procesos de crecimiento limitados por la radiación fotosintéticamente activa, el agua y los nutrientes. El crecimiento reproductivo en pimiento se desencadena muy tempranamente y se halla fuertemente influido por la temperatura. Si el objetivo comercial es obtener la máxima productividad por unidad de área y tiempo, es imprescindible conocer los procesos fisiológicos determinantes de las tasas de crecimiento y desarrollo en diferentes momentos del ciclo de cultivo en el marco de la tecnología disponible para producción de pimiento dulce. La información compilada en este trabajo apunta a satisfacer la demanda de conocimiento disponible para la toma de decisiones productivas.

Palabras claves adicionales: cultivo intensivo, ecofisiología, procesos de crecimiento, procesos de desarrollo, rendimiento.

ABSTRACT

Ludvik, B.; Giardina, E.; Di Benedetto, A. 2017. Physiological requirements and technological restrictions for sweet pepper cropping. Horticulture Argentina 36 (91): 122 - 152.

The genotypic sweet pepper offer is wide and allows adaption of the commercial crop to different environmental and cultural facilities. However, the choice of a specific pepper genotype with the objective to optimize crop yield requires the knowledge of the endogenous and technological factors involved. Sweet pepper seed price is high while seed germination is slow and heterogeneous which force commercial growers to change the direct sowing for a transplant routine. However, plug trays give different abiotic stresses related to both the cell volume and the growing media quality in vegetables. Vegetative growth rate in sweet pepper is low and limited by the rate of leaf area

expansion, which is limited by both the development processes temperature-dependent and the biomass accumulation processes limited by the light photosynthetic flux, water and minerals. Sweet pepper plants flower early and blooming is temperature-dependent. If the grower's objective is to reach the highest sweet pepper yield per unit area and time, it is critical to know the physiological mechanisms involved which affect the rates of growth and development at different plant stages. In the present paper, the available bibliography related to the physiological processes that control pepper growth and development are compiled. The related available crop technology has been included as well.

Additional keywords: intensive cropping, crop ecophysiology, growth, development, yield.

1. Introducción

El cultivo del pimiento, principalmente las variedades dulces cosechadas como verde o rojo, es una importante alternativa productiva difundida en todos los continentes con una superficie superior a las 700.000 ha (FAOSTAT, 2014). Es también la segunda hortaliza cultivada bajo cubierta en Argentina. Existen producciones en diversas regiones, desde el norte del país en las provincias de Salta, Jujuy, Formosa y Corrientes, hasta el sur de la provincia de Buenos Aires. Los cultivos protegidos representan la expresión más intensiva y moderna de la producción de pimiento primicia; durante el invierno las condiciones agroclimáticas ideales se dan en las provincias del NEA. Por esta causa, según la zona y la época de producción, difieren las estrategias que deben ser aplicadas (Di Benedetto, 2005; Zeman, 2011).

En nuestro país, la fecha de implantación depende de la localización geográfica del establecimiento, pudiéndose establecer tres fechas potenciales:

- a) Ciclo temprano o de primicia: la siembra, en sistemas de forzado, se inicia en marzo-abril y se trasplanta en invernaderos en mayo-junio para cosecha entre agosto y diciembre. El destino es en su totalidad para mercado fresco y se realiza en el NOA y el NEA.
- b) Ciclo normal: se siembra en sistemas de forzado (consumo fresco en invernaderos) o semi forzado (consumo fresco a campo e industria) en julio-agosto, se trasplanta en septiembre y se cosecha entre diciembre y abril.
- c) Ciclo tardío: para consumo fresco en producciones bajo invernadero en áreas con un período libre de heladas relativamente corto (Mar del Plata). La siembra se inicia en sistemas de forzado en septiembre-octubre para trasplante en noviembre y cosecha entre enero y abril.

Es un cultivo originario de América del sur, de la zona de Perú y Bolivia y, desde allí se expandió hasta América central y Meridional. Los frutos son consumidos crudos o cocidos y, a nivel industrial, se emplean para la producción de productos de II Gama (conservas en vinagre y polvo para condimento) y de III Gama (congelados). Desde el punto de vista varietal, el pimiento presenta una amplia gama de genotipos utilizados para encurtidos, obtención de pimentón y consumo fresco; de estos últimos, los genotipos de pimiento dulce suelen tener frutos de tamaño grande y son los que se cultivan en invernaderos. Son también los más sensibles a situaciones de cultivo limitantes.

La variabilidad genética en pimiento incluye genotipos cultivados y silvestres que difieren en rendimiento y muchas características tales como tamaño, peso y color del fruto, pungencia, altura de planta y grado de madurez (Butcher *et al.*, 2013). Ben-Chain & Paran (2000) encontraron una marcada heterosis para días hasta maduración del fruto principal, altura de planta y contenido de sólidos solubles y una baja heredabilidad. La mayor parte de la variación genética asociada con estos atributos que afectan el tamaño y la forma de los frutos es aditiva. Contrariamente, se encontró una baja correlación entre el peso del fruto y el largo del mismo, indicando que el tamaño del fruto se halla determinado primariamente por su ancho. Bhutia *et al.* (2015) han encontrado actividad génica no aditiva en el control de la expresión del rendimiento por planta sobre una base de peso fresco y la mayor parte de los componentes del rendimiento y contenido de antioxidantes (vitamina C y beta caroteno, un precursor de la vitamina A). Este estudio indica que existe vigor híbrido para la producción de híbridos F₁. La presencia de interacción génica sugiere la posibilidad de lograr nuevos genotipos que optimicen los atributos asociados con una alta productividad (Marame *et al.*, 2009).

El rendimiento por planta se halla positivamente correlacionado con el largo del fruto, el número de frutos por planta y los días a madurez. Se encontraron también correlaciones positivas entre la altura de la planta y el tamaño del canopeo por planta. El largo del fruto fue significativamente correlacionado con el ancho y el peso del fruto. Dado que el número de frutos por planta también se encontró correlacionado con cinco caracteres que involucran aspectos positivos indirectos, Hasanuzzaman & Golam (2011) han sugerido que la selección en pimiento debería estar orientada a optimizar el número de frutos por planta. De todas formas, los programas de mejoramientos tienen en cuenta al peso del fruto, forma, color, capacidad de maduración, pungencia y arquitectura de planta como aspectos centrales de los programas vigentes (Paran & van der Knaap, 2007).

El pimiento pertenece a la familia de las Solanáceas y su nombre científico es *Capsicum annuum* L. Presenta corolas de color blanquecino y flores normalmente solitarias. *C. annuum* es una planta herbácea, de cultivo generalmente anual, y que puede en algunos casos, transformarse en bianual. Posee un sistema radical pivotante y profundo cuando se inicia mediante el sistema de siembra directa que puede llegar a 1,2 m de profundidad. En los cultivos iniciados por trasplante el sistema radical es más superficial. El tallo es erecto de hasta 2 m o más de altura, anguloso y provisto de ramificaciones dicotómicas, glabro en las variedades cultivadas y pubescentes en los tipos espontáneos. Las hojas son alternas, brillantes con lámina ovada o elíptica y margen entero. La expansión de las láminas foliares está en relación a las dimensiones de los frutos. Son ricas en estomas llegando hasta 30.000 por cm² en el envés y con una relación de 3,3 entre lámina superior y envés. Las flores son hermafroditas, de fecundación autógena, presentan corolas de color blanquecino en posiciones normalmente solitarias. La antesis floral dura 2-3 días pero es escalonada en toda la planta y, en algunos cultivares y bajo condiciones favorables, se prolonga por varios meses. Los frutos son bayas carnosas que van de pequeñas (menos de 10 gr) en algunas variedades hasta grandes (más de 500 gr) en otras. En los frutos está presente un alcaloide denominado "capsicina" (con mayor localización en la placenta interna) es responsable del sabor picante.

Dicha sustancia es variable en los diversos cultivares por lo que se encuentran grados diversos de sabor pungente. Las semillas son reniformes, aplastadas, de color marrón claro y levemente pubescentes. El peso de 1000 semillas es de 5-7 gr. La viabilidad dura 3 a 4 años según las condiciones de humedad y temperatura durante su almacenamiento. No presentan dormición, por lo que para germinar solo requieren de agua, oxígeno y temperatura adecuada. La productividad de cada planta, en términos biológicos, comienza a definirse desde el inicio del ciclo de producción comercial y es afectada por diferentes factores a lo largo del mismo. Los requerimientos agroclimáticos de cada genotipo definen la respuesta productiva e incluyen procesos de desarrollo y procesos de crecimiento. Los primeros se hallan controlados en pimiento por la temperatura (los cambios térmicos, especialmente los que involucra a las temperaturas mínimas, definen la extensión del ciclo productivo y los requerimientos de climatización). Entre los factores que controlan los procesos de crecimiento se encuentran la radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés) (el uso eficiente de la radiación recibida es un elemento crucial en la acumulación de fotoasimilados y la formación de una biomasa activa), el agua y los nutrientes.

El pimiento es requerido por los consumidores por su valor nutritivo asociado con el contenido de compuestos fenólicos, de ácido ascórbico, la capacidad antioxidante y la capacidad de peroxidación de lípidos limitantes del estrés oxidativo celular. Las condiciones ambientales del cultivo modifican la calidad nutricional, por ejemplo, el cultivo bajo invernadero incrementa el contenido de carotenos (Russo *et al.*, 2002). Dado que estos atributos dependen del genotipo y del estado de maduración del fruto (Tadesse *et al.*, 2002) es esencial establecer un programa de selección en pimiento que asegure no solo la productividad sino también la calidad nutricional (Marti *et al.*, 2011).

2. Germinación y emergencia de plántulas

La Figura 1 resume las variables más importantes que afectan el proceso de germinación y emergencia de plántulas en pimiento.

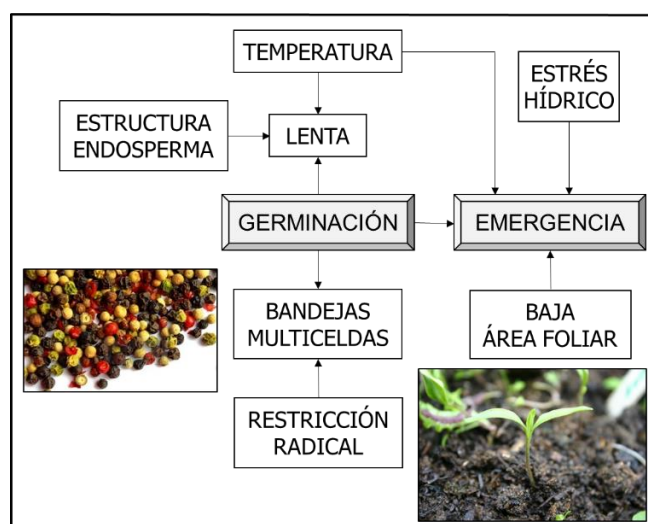


Figura 1. Factores principales que limitan la germinación y emergencia de plántulas en pimiento.

Aunque el pimiento es una especie que no se considera que posea latencia seminal, con frecuencia se observa, tras la siembra, una tardanza mayor de lo normal en producirse la emergencia. Bajo condiciones hídricas del sustrato óptimas, el pimiento requiere una

temperatura mínima de germinación de 10,9 °C, mientras que la suma térmica requerida para germinación se encuentra en 182 °C día (Bierhuizen & Wagenvoort, 1974). El estado de maduración del fruto en el momento de la extracción de las semillas (inmaduro, completamente maduro o sobre madurado) afecta la respuesta germinativa de las mismas (Cavero *et al.*, 1995). La germinabilidad es máxima cuando finaliza la etapa de llenado de las semillas y tanto la viabilidad como el vigor comienzan a declinar a partir de ese momento (Demir & Ellis, 1992). Todos los cultivares de pimiento exhiben termo-dormición cuando la imbibición se realiza a altas temperaturas. Una temperatura de 40 °C inhibe la germinación (Carter & Vavrina, 2001). Xu & Kafkafi (2003) encontraron que las semillas desarrolladas durante el verano tenían menores porcentajes de emergencia de plántulas y perdían una importante proporción de su contenido de potasio durante la germinación en comparación con las semillas desarrolladas en invierno. Las semillas de verano acumulaban más potasio y cloro pero menos fósforo, magnesio y calcio; la relación de ácido linoleico: oleico fue también menor. La estación de crecimiento no afectó el contenido de nitrógeno ni de ácidos grasos. El componente más abundante de las cubiertas seminales fue el potasio en las semillas de verano y el calcio en las de invierno. Los cotiledones y el endosperma de las semillas de verano contenían relativamente mayores contenidos de potasio y calcio y menores de fósforo y magnesio que las de invierno.

Watkins & Cantliffe (1983) consiguieron estimular el índice de germinación mediante aplicaciones de giberelinas (sobre todo, AG₄₊₇), si bien las respuestas a estas aplicaciones era mayor a 25 °C que a 15 °C. Randle & Honma (1981) indicaron que la velocidad y homogeneidad de la germinación de las semillas del pimiento eran influidas también por factores tales como la variedad, la edad del fruto del que se han extraído y las condiciones de conservación de las mismas durante el almacenamiento. A 25 °C la radícula requiere 3,5 días para emerger mientras que a 15 °C lo hace en 9 días. Estas diferencias están relacionadas con la estructura del endospermo, el cual constituye la principal limitante para la aparición de la radícula.

Las bajas tasas de germinación y emergencia de las semillas de pimiento pueden ser mejoradas con la implementación de alguna rutina de pre-acondicionamiento osmótico previo a la siembra. Cuanto mayor sea el tiempo medio de germinación (indica que la germinación es más lenta y más dispersa en el tiempo), las plántulas son más pequeñas y más variables (Demir *et al.*, 2008).

Un aumento en los niveles de salinidad afecta los parámetros de germinación y la longitud de la radícula y la plúmula; el peso fresco y seco de las plántulas emergidas también se ve afectado negativamente. La salinidad por encima de 50 mM de sales disminuye la tasa de germinación pero no el porcentaje de germinación. El crecimiento de las plántulas se reduce significativamente cuando se encuentran en contacto con soluciones de 10 mM de cloruro de sodio (Chartzoulakis & Klapaki, 2000).

Leskovar & Cantliffe (1993) han indicado que las plantas iniciadas por siembra directa mantienen un mejor balance entre el sistema radical y la parte aérea que las plantas trasplantadas, sin embargo, estas últimas translocan una mayor proporción de fotoasimilados a la parte aérea (por unidad de peso de raíces) obteniendo rendimientos mayores y más precoces. En la actualidad la producción de plántulas está generalmente a cargo de empresas que se han especializado en la producción de plantines en bandejas multicelda debido al nivel de tecnificación requeridos para alcanzar la máxima germinabilidad de las semillas y la calidad de las plántulas obtenidas. Dado que la fase inicial de crecimiento ha dejado de estar a cargo del productor, ha permitido el surgimiento de una nueva empresa dentro del sector de producción hortícola, las 'plantineras'.

Debido al elevado costo de sus semillas y a sus requerimientos térmicos para germinación, la propagación se desarrolla en bandejas multicelda de tamaño variable (128 a 200 celdas por

bandeja). El uso de bandejas multicelda ha permitido desarrollar una pujante industria de propagación para la mayor parte de las especies bajo cultivo intensivo. Sin embargo, Loomis (1925) estableció tres categorías en relación con la respuesta al trasplante: un primer grupo que usualmente se trasplanta y sobrevive sin inconvenientes (tomate, lechuga, coliflor y remolacha); un grupo intermedio que incluye al apio, berenjena, cebolla y pimiento y una tercera categoría que incluye especies que son difíciles de trasplantar (maíz dulce, puerro, pepino y melón).

Los efectos negativos del tamaño del contenedor sobre la producción de biomasa aérea pos-trasplante es un hecho documentado para especies hortícolas de fácil (Araki *et al.*, 2007; Coro *et al.*, 2014; Di Matteo *et al.*, 2015) y difícil trasplante (Di Benedetto & Rattin, 2008) y estaría asociada con un mensaje endógeno, de origen hormonal, cuando la raíz, en su crecimiento, alcanza la base de la celda y cambia su verticalidad (Di Benedetto *et al.*, 2006). El asperjado con citocininas exógenas pre-trasplante ha sido mencionado como una herramienta tecnológica capaz de reducir los efectos de dicha restricción radical asociada con el tamaño de la celda utilizada (Di Benedetto & Pagani, 2013). Resultados preliminares del asperjado foliar con citocininas (Ludvik, observación personal) indican perspectivas comercialmente interesantes en el cultivo de pimiento dulce. El uso de bioestimulantes en la etapa de pre-trasplante en pimiento han mostrado incrementos de rendimiento en el pos-trasplante; alguno de ellos quizás a partir de la presencia de citocininas en su composición (Arthur *et al.*, 2003). Resultados recientes indican que la calidad del sustrato de cultivo puede ser considerado como una fuente de estrés abiótico adicional durante la etapa de propagación en especies bajo cultivo intensivo (Pagani *et al.*, 2015; Gandolfo *et al.*, 2016; De Lojo *et al.*, 2017) aunque se requiere una calibración específica de este factor dentro de la rutina comercial de pimiento.

El suministro de nitrógeno durante la etapa de pre-trasplante limita el comportamiento en el pos-trasplante. Aloni *et al.* (1991) han indicado que concentraciones de nitrógeno menores a 100 mg L⁻¹ durante el pre-trasplante inhiben el crecimiento del tallo y el contenido de clorofila acumulado. Resultados similares fueron comunicados por Dufault & Schlthesis (1994).

La edad de la plántula en el momento del trasplante afecta el rendimiento final en pimiento. Los plantines de 8 a 10 semanas en el momento del trasplante producen más frutos y mayor rendimiento comercial que aquellos que tienen entre 12 y 14 semanas, probablemente porque estos últimos alcanzan el estadio de 50% de floración más tempranamente y con menor fuente fotosintética (Ibrahim *et al.*, 2013).

3. Crecimiento vegetativo

La tasa de crecimiento de las plántulas de pimiento es menor que en la mayor parte de las especies hortícolas. Este fenómeno no está asociado a una baja capacidad fotosintética sino a una reducida área foliar (Nilwik, 1981; Urrestarazu *et al.*, 1999). Esto implica que se deben controlar las malezas durante la mitad del ciclo de producción para evitar pérdidas en el rendimiento comercial (Amador-Ramírez, 2002). Se ha indicado que las citocininas endógenas regulan la expansión de las hojas en pimiento (Nielsen & Ulskov, 1992; Ulskov *et al.*, 1992).

La Figura 2 resume los principales factores ambientales, fisiológicos y tecnológicos que influyen sobre la acumulación de biomasa fotosintetizante en pimiento.

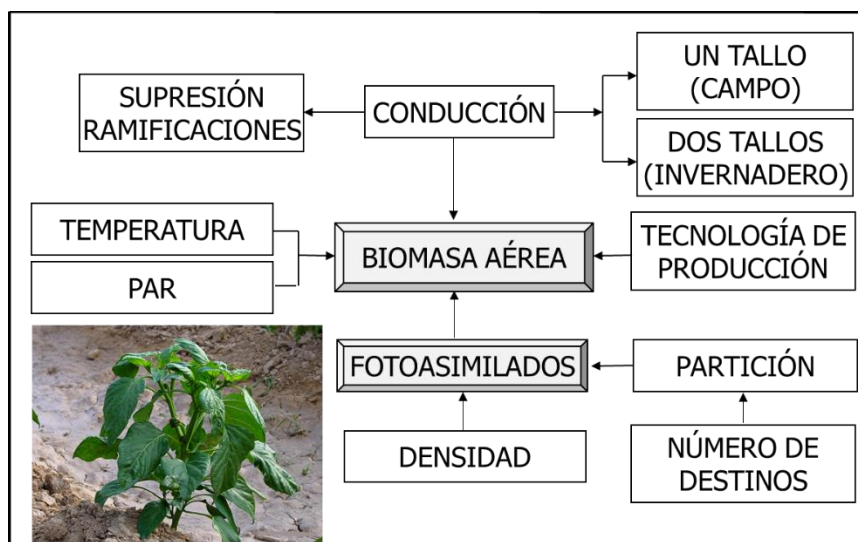


Figura 2. Factores limitantes para la expansión de la biomasa fotosintetizante en pimiento.

La tasa de crecimiento absoluta es influida por la temperatura del aire, la cual afecta tanto la producción de fotoasimilados como la partición de los mismos. Una menor temperatura durante el ciclo de crecimiento vegetativo reduce el rendimiento final a través de un incremento en la relación de peso foliar (RWL, por sus siglas en inglés) y una disminución de la relación de área foliar (LAR, por sus siglas en inglés) (Bakker & Van Uffelen, 1988).

Sus exigencias térmicas hacen que su ciclo de cultivo óptimo a campo sea primavero-estival, mientras que bajo cubierta es factible anticiparlo y retrasarlo, logrando producciones gran parte del año. Las condiciones de crecimiento óptimas para el crecimiento del pimiento requieren temperaturas diurnas de 24 °C a 26 °C y nocturnas de 16 °C a 18 °C. Esto determina que para obtener buenas producciones invernales sea necesario el uso de calefacción suplementaria en zonas ubicadas en latitudes superiores a los 30°. Después de 24 horas de exposición a 8 °C, las plantas de pimiento exhiben síntomas visibles de daño caracterizados por flacidez de tallos y hojas, acompañado de cambios significativos en el metabolismo, indicando que las bajas temperaturas inducen un estrés oxidativo (Airaki *et al.*, 2012).

Bajo condiciones de cultivo comercial a campo, la mayor parte de los cultivares de pimiento producen una flor terminal después de expandir 8-10 hojas sobre el tallo principal. Típicamente, aparecen 2-3 ramificaciones del meristema apical, las cuales terminan finalmente en una flor después de producir un nudo. Este modelo se repite durante cinco nudos sucesivos si lo permite la duración de la estación de crecimiento (Rylski, 1972). En invernadero, las plantas cuya conducción se halla restringida a dos tallos mediante una poda temprana, pueden formar muchos nudos y alcanzar una altura final de casi 2,5 m. El número de nudos formados antes que se inicien las flores parece estar regulado genéticamente y es poco influido por las condiciones ambientales (Bertram & Karlsen, 1994; Li *et al.*, 2000). En cultivos bajo cubierta se utiliza la tecnología de poda a dos o cuatro ramas y también la aplicación de reguladores de crecimiento logrando así aumentar la producción por planta (Shetty & Manohar, 2008). Algunos investigadores, han comprobado que es posible que en una planta de pimiento se dé una especie de poda natural, ya que se detiene el crecimiento de las ramificaciones que van hacia el centro de la planta donde están más sombreadas. Por esto no se aconseja la poda de los brotes superiores a la primera flor. El largo del tallo y el número de nudos por tallo se incrementan linealmente con una disminución de la densidad de plantación disminuyeron a medida que se incrementaba el número de ramas (de uno a cuatro)

(Ahirwar & Hedau, 2015). Thomas & Watson (1988) han indicado que cada rama individual funciona como una unidad fisiológica integrada.

Kim *et al.* (2016) mostraron que la intercepción de luz sobre el canopeo de pimiento declina exponencialmente a medida que se expande la biomasa fotosintetizante y que la capacidad fotosintética es afectada por la intercepción de la luz como resultado de la aclimatación de los diferentes estratos de hojas a su ambiente lumínico particular. Sin embargo, la intercepción de luz dentro del canopeo es heterogénea y depende de diferentes factores ambientales y culturales tales como la localización geográfica, el índice de área foliar (LAI, por sus siglas en inglés) y la arquitectura del cultivo.

Se ha encontrado una relación positiva entre la tasa de crecimiento relativo (RGR, por sus siglas en inglés) y PAR, aunque los valores absolutos son 25% menores que los encontrados en tomate o pepino. RGR es el producto entre la tasa de asimilación neta (NAR, por sus siglas en inglés) (una estimación de la capacidad fotosintética) y LAR (una estimación del carbono asociado con los órganos fotosintéticos). Los menores valores de RGR se hallan asociados con su bajo LAR en hojas con poco espesor. NAR alcanza sus valores máximos cuando PAR se encuentra por encima de $400 \text{ J cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, aunque los valores máximos de RGR se alcanzan con $300 \text{ J cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$. La diferencia se encuentra en la disminución de LAR a medida que se incrementa la radicación PAR (Bruggink & Heuvelink, 1987). La eficiencia en el uso de la radiación (RUE, por sus siglas en inglés) es de aproximadamente $2,20 \text{ g MJ}^{-1}$ bajo condiciones de óptima irrigación (Karam *et al.*, 2009). Vieira *et al.* (2009) encontraron que RUE no cambiaba sustancialmente durante la estación de cultivo y se encontraba alrededor de $1,6 \text{ g MJ}^{-1}$ de radiación PAR interceptada en pimientos bajo riego suplementario.

La tasa fotosintética en pimiento se encuentra alrededor de los $18 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ seg}^{-1}$ (Choudhary *et al.*, 2012), mostrando además una relación positiva entre la tasa fotosintética y la temperatura. A 11 °C se inhibe la fotosíntesis, la máxima tasa fotosintética se obtiene entre 23 °C y 33 °C (Espinosa-Calderón *et al.*, 2012). Para una dada PAR que llega a las hojas de una planta de pimiento (con valores de LAI entre 0,8 y 2,5), aquellas insertadas cerca de un fruto creciendo a su máxima RGR, muestran los valores máximos de fotosíntesis neta seguidas por las hojas cercanas a una flor abierta. Un comportamiento similar se encontró para el contenido de nitrógeno foliar expresado tanto sobre una base de área foliar como de peso seco. Esto indicaría que la capacidad fotosintética de la hoja a lo largo de un tallo productivo en pimiento se halla principalmente regulada por la demanda del fruto más cercano (González-Real *et al.*, 2009).

Una extensión de la integral PAR mediante el uso de luz suplementaria incrementa la cantidad de carbohidratos producidos, pero no el peso seco de los tallos; de todas formas el rendimiento comercial aumenta en forma significativa, probablemente asociado con una eficiente translocación hacia los frutos en crecimiento (la misma varía entre 71 y 90%) (Dorais *et al.*, 1996). Las hojas de pimiento funcionan como órganos exportadores de carbono eficientes durante gran parte de su vida útil. Las hojas jóvenes y viejas exportan el mismo porcentaje de carbono fijado (74 % en 24 horas), aunque las tasas de fijación por unidad de área de hojas jóvenes pueden ser tres veces mayor que las hojas viejas (Steer *et al.*, 1976). Un incremento en la tasa fotosintética durante el ciclo de producción permitiría explicar el aumento en la síntesis de almidón al inicio de la expansión del fruto (Hammond & Burton, 1983). Cuando se analiza la estructura fotosintética de una planta de pimiento es posible observar que las hojas basales invierten menos carbono en la síntesis de sacarosa en comparación con el extremo de la planta donde la expansión foliar casi se ha detenido. Los cambios en la tasa de expansión foliar y la partición de carbono se producen gradualmente (Nielsen & Veierskov, 1990).

Marcelis *et al.* (2006) desarrollaron un modelo para explicar la producción de materia seca y la partición en pimiento. El desarrollo del área foliar y la iniciación de órganos fueron

simulados como una función de la suma de temperatura. La absorción de la luz y la tasa fotosintética se calculó para un canopeo multicapa uniforme. NAR se expresó como la resultante entre la tasa fotosintética bruta y la respiración de mantenimiento. La producción de frutos se estimó como una función del balance entre fuentes fotosintéticas-destinos y la temperatura. La partición de fotoasimilados entre los órganos vegetativos y reproductivos se simuló en relación con el concepto fuente-destino. La importancia como destino de cada fruto individual se calculó en función de la suma térmica desde anthesis pero el resto de los órganos vegetativos solo en función de la temperatura.

Los atributos que definen el crecimiento vegetativo (altura de planta, largo de tallos laterales y contenido de clorofila) se reducen a medida que aumenta la densidad de plantación (Aminifard *et al.*, 2010). Cavero *et al.* (2001) encontraron que el número de frutos por planta y el peso seco de los frutos disminuye a medida que aumenta la densidad de plantación. El contenido de pigmentos declinaba linealmente con el aumento de la densidad de plantación. Estos autores han sugerido densidades entre 150.000 y 200.000 plantas ha⁻¹ para optimizar el rendimiento de frutos frescos y el contenido de pigmentos. Sin embargo, las densidades recomendadas en el cultivo comercial se encuentran alrededor de las 44.000 plantas ha⁻¹ (Decoteau & Graham, 1994; Ortega *et al.*, 2004).

La disponibilidad de agua es un requerimiento indispensable para los procesos de crecimiento en pimiento y se encuentra determinado a partir de PAR. Sin embargo, Shin *et al.* (2014) han encontrado que la cantidad de agua usada por la planta no siempre se incrementa proporcionalmente con los niveles de radiación acumulada y que una estrategia más adecuada es utilizar una relación sigmoidea que incluya la tasa transpiratoria y la intensidad de luz. La tasa transpiratoria en pimiento se ubica alrededor de 6 mmol H₂O m⁻² seg⁻¹ (Choudhary *et al.*, 2012). Durante un estrés hídrico severo, la tasa fotosintética disminuye debido a cierre estomático, una baja tasa de carboxilación del carbono y una baja capacidad de regeneración del aceptor primario (ribulosa bifosfato carboxilasa), es decir, afecta tanto los componentes estomáticos y no estomáticos de la fotosíntesis. Después de la rehidratación, la recuperación de la tasa fotosintética se halla principalmente restringida por la conductancia estomática y por la gradual recuperación de la cadena de transporte de electrones (Campos *et al.*, 2014). En pimiento, las plantas irrigadas para compensar el 100%, el 75%, 50% o el 25% de la evapotranspiración potencial, mostraron reducciones en la altura de la planta y en el diámetro de los tallos a medida que se incrementaba el déficit de vapor de agua (Akinbile *et al.*, 2011). El sistema de riego también es una variable a tener en cuenta (Kong *et al.*, 2012; Cosic *et al.*, 2015). Antony & Singandhupe (2004) encontraron que las plantas de pimiento tenían mayor número de ramificaciones y alturas cuando los emisores estaban a 60 cm sobre el cultivo en relación con plantas donde los emisores estaban a nivel del cuello de la planta. Delfine *et al.* (2002) encontraron que las plantas cuyo suministro hídrico dependía de la pluviometría natural presentaban menores valores de acumulación de biomasa en todos sus órganos, tasa fotosintética, potencial agua foliar e interceptaban menor cantidad de PAR que las plantas con irrigación suplementaria aunque presentaban mayores concentraciones de iones en las hojas. No se encontraron diferencias en rendimiento cuántico aún bajo niveles severos de estrés lo que indica que las limitaciones fotosintéticas estaban asociadas con una disminución en la conductancia estomática. En condiciones de estrés severo la fotosíntesis también se redujo por una disminución de la conductancia del mesófilo. Bajo un estrés hídrico, el tamaño del sistema radical adquiere una importancia crítica. Kulkarni & Phalke (2009) mostraron una correlación positiva entre el largo de la raíz principal, la densidad de raíces laterales, el área de xilema por sección de raíz versus el rendimiento en pimiento tanto en situaciones con y sin estrés hídrico.

Los nutrientes también regulan los procesos de crecimiento de las plantas de pimiento (Stagnari & Pisante, 2012; Rahman & Inden, 2012). Una correcta fertilización en pimiento

incrementa el vigor de la planta expresadas a través de su altura, número de hojas y tallos y la acumulación de peso fresco-seco en los diferentes órganos que la componen (El-al & Faten, 2009). Las concentraciones de nitrógeno óptimas para acumulación de peso seco en tallos y hojas se encontraron en el rango de 8,0 a 9,2 mmol l⁻¹ (Bar-Tal *et al.*, 2001b). Balliu *et al.* (2006) mostraron que a medida que se incrementaba el suministro de nitrógeno, aumentaba RGR a partir tanto de una mayor LAR como a una mayor NAR. A altas tasas de suministro de nitrógeno (100 a 400 mg l⁻¹) una mayor RGR estuvo asociada solo a incrementos en LAR a partir de mayores valores en sus componentes, el área foliar específica (SLA, por sus siglas en inglés) y LWR. Iqbal *et al.* (2017) han indicado que la fertilización con 25 o 100 kg ha⁻¹ de potasio para la misma concentración de nitrógeno marca los límites de deficiencia y exceso, mientras que una dosis de 50 kg ha⁻¹ optimiza el rendimiento, la capacidad fotosintética y la actividad antioxidante en pimiento.

La salinidad es uno de los principales problemas ambientales en la producción de pimientos, especialmente bajo condiciones de irrigación suplementaria (De Pascale *et al.*, 2003). Estimadores de crecimiento tales como altura de la planta, área foliar total y peso seco se reducen significativamente con concentraciones de 25 mM de cloruro de sodio (Chartzoulakis & Klapaki, 2000). La longitud de la radícula disminuye significativamente con un aumento en las concentraciones de sales, demostrando que el mecanismo de tolerancia a la salinidad no está totalmente desarrollado en las plántulas jóvenes de pimiento. La salinidad tiene efectos osmóticos e iónicos específicos sobre las plántulas (Dioniso-Sese & Tobita, 2000). También se ha informado de que la salinidad suprime la absorción de nutrientes esenciales como el fósforo (P) y el potasio (K) y afecta la tasa fotosintética (Azuma *et al.*, 2010). Sin embargo, existen diferencias significativas de respuesta frente a un estrés salino entre diferentes genotipos de pimiento (Aktas *et al.*, 2006).

La cobertura de suelo ('mulching') es una tecnología que permite conservar la humedad e incrementar la temperatura de suelo. Liang *et al.* (2011) han indicado que la cobertura de suelo incrementa la tasa fotosintética neta, la conductancia estomática, la concentración intercelular de dióxido de carbón, la tasa transpiratoria, la eficiencia en el uso del agua y el rendimiento comercial en pimiento. La cobertura de suelo también incrementa la eficiencia en el uso de la fertilización, reduce las pérdidas de nutrientes por escurrimiento y disminuye la contaminación de napas de agua del cultivo de pimiento (Romic *et al.*, 2003). El efecto del 'mulchig' sobre las plantas de pimiento está relacionado con el material utilizado y el color del mismo (Locher *et al.*, 2005).

Se ha encontrado una estrecha relación entre el crecimiento de las raíces y los órganos vegetativos aéreos indicando un equilibrio funcional entre ambos en pimiento. La relación cambia cuando las plantas inician la fase vegetativa pero es independiente del desarrollo de los frutos (Nielesn & Veierskov, 1988). Ma *et al.* (2009) indicaron que la importancia de los órganos vegetativos como destino en los genotipos dulces es más importante que en otros tipos de pimiento.

4. Crecimiento reproductivo

Las flores de pimiento son auto fértiles aunque, a diferencia del tomate, las anteras y el estigma no se tocan. En muchos cultivares las flores se sostienen horizontalmente o en forma péndula, por lo que la presencia de polinizadores (abejas) contribuye con el proceso reproductivo e incrementa tanto el tamaño de los frutos producidos como el número de semillas presentes (Shipp *et al.*, 1994; Serrano & Guerra-Sanz, 2006). Para que se produzca la floración, se requiere que la planta alcance un volumen foliar mínimo (8-12 hojas

expandidas). La figura 3 resume las variables más importantes relacionadas con el proceso de floración en pimiento.

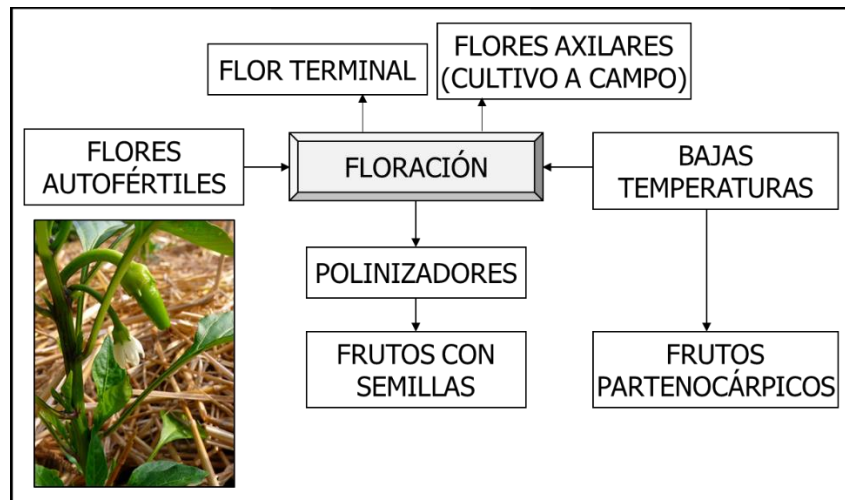


Figura 3. Consecuencias del proceso de floración en pimiento.

La temperatura es el factor ambiental más importante para la floración y fructificación de las plantas de pimiento. Las bajas temperaturas modifican el patrón de crecimiento del cultivo y fundamentalmente de los frutos. Cuando las temperaturas descienden de 15 °C se afecta el crecimiento general de las plantas y cuando descienden a 10 °C se detiene por completo el crecimiento de brotes y hojas y las flores no se abren; en estas condiciones, los frutos siguen creciendo pero son partenocárpico (sin semilla). El tamaño de los frutos de pimiento se determina durante los primeros estadios de desarrollo de los mismos; los frutos pequeños son comúnmente partenocárpico y se desarrollan bajo temperaturas menores a 16°C a partir de flores con ovarios elongados. En esas flores, la autopolinización no es eficiente por la excesiva distancia entre el estigma y los estambres. Aloni *et al.* (1999) han sugerido que la morfología de las flores es parcialmente controlada por las relaciones fuente-destino de carbohidratos generando un incremento en la translocación de fotoasimilados responsables de la deformación de los frutos. El desarrollo de los frutos partenocárpico se halla regulado por la actividad de un único gen recesivo (Tiwari *et al.*, 2011).

Las bajas temperaturas nocturnas inducen un incremento en el tamaño del ovario y, consecuentemente, incrementan la deformación de los frutos de pimiento lo cual limita su comercialización. Este resultado está asociado con un aumento en el peso fresco tanto del ovario como de la placenta que se hace más pronunciado a medida que se extiende el período de bajas temperaturas a partir de la primera semana de iniciación de la yema floral (Cruz-Huerta *et al.*, 2011). Las bajas temperaturas disminuyen la concentración de sacarosa y azúcares reducidos (glucosa y fructosa) antes y durante la antesis y dificultan el funcionamiento del polen (Shaked *et al.*, 2004). Cuando la planta es joven y recibe temperaturas inferiores a los 10 °C se produce la caída de flores. Pero en plantas de 100 días o más es posible la floración a temperaturas inferiores a los 8,5 °C. Las heladas destruyen la parte aérea de los pimientos, pero si no han sido muy intensas, la planta puede rebrotar. Las variedades picantes, tienen requerimientos térmicos inferiores a las dulces y más parecidas a los de tomate, aunque el grupo de los pimientos picantes muestran una gama varietal muy amplia desde el punto de vista de la adaptación térmica.

Por encima de los 35 °C también puede producirse la caída de flores y reducir la productividad en pimiento. Esta respuesta puede asociarse a un efecto directo de la temperatura o a un efecto indirecto relacionado con un estrés hídrico que induce un creciente déficit de vapor de presión de agua, aunque Erickson & Markhart (2001) encontraron que el

déficit de vapor de presión de agua no tiene efecto significativo sobre el número de frutos fijados. Cuando las yemas florales que tienen menos de 2,5 mm de largo alcanzan la antesis durante la exposición a altas temperaturas se reduce la viabilidad del polen; estudios morfológicos indican que se inicia la formación de las tétradas después de la meiosis, pero las micro esporas permanecen pequeñas y se agrupan sin incrementar la deposición de exina. Cuando la exposición a altas temperaturas se produce en estadios de desarrollo más tardíos (pre-antesis) no se afecta la viabilidad del pistilo o el estambre pero se inhibe el desarrollo del fruto sugiriendo que la fertilización es sensible a un estrés por altas temperaturas (Erickson & Markhart, 2002).

La exposición a altas temperaturas durante diferentes períodos de desarrollo después de la antesis afecta negativamente tanto el crecimiento del fruto como la producción de semillas en pimiento. Un estrés calórico pos-antesis durante 30 días reduce el ciclo de crecimiento en los frutos entre 10 y 15 días. Un período menor de altas temperaturas (10-25 días) disminuye el peso, el ancho del fruto y el desarrollo de las semillas, incrementando la proporción de semillas anormales por fruto y afectando la germinabilidad y vigor de las restantes (Pagamas & Nawata, 2008). Se está trabajando actualmente para obtener genotipos con mayor resistencia a altas temperaturas durante la fase reproductiva (Kaur *et al.*, 2016). El aborto de flores en pimiento depende también de la intensidad de luz que reciben las plantas y de la cantidad de sacarosa disponibles para las flores (Aloni *et al.*, 1996, 1997). Este factor es más limitante en producciones bajo invernadero fuera del período de producción tradicional.

A medida que la planta produce estructuras reproductivas, el órgano con crecimiento más activo sobre la planta de pimiento, después de la floración, es el fruto. Una característica de esta especie es que la actividad fotosintética foliar se mantiene hasta las fases finales de crecimiento del fruto. En condiciones comerciales, si las condiciones ambientales lo permiten, se producen nuevos ciclos de crecimiento vegetativo y reproductivo después que los primeros frutos son cosechados. Esto implica una fuerte competencia en la distribución de los fotoasimilados producidos y almacenados en la planta (Wubs *et al.*, 2009a, b). Este patrón cíclico de producción de frutos se halla asociado con fuertes variaciones en el contenido de nitrógeno de las hojas sobre una base de área foliar y peso foliar específico (SLW, por sus siglas en inglés). Sobre una escala de planta entera, los valores de SLW disminuyen drásticamente (30%) con el incremento en la carga de frutos y es coincidente con un cambio en la distribución de la materia seca y el nitrógeno dentro de la planta hacia los frutos. Los ciclos de cambio tienen una duración de aproximadamente 70 días desde la antesis hasta la cosecha. Las raíces son las más afectadas por el crecimiento de los frutos (González-Real *et al.*, 2008). El desarrollo de semillas en los frutos de pimiento dulce es una causa importante del aborto de nuevas flores, la presencia de frutos irregulares y el rendimiento, ya que RGR se incrementa con el número de semillas (Heuvelink *et al.*, 2002).

El rápido crecimiento de los frutos ocasiona una disminución del crecimiento vegetativo, motivo por el cual, especialmente en aquellos cultivos en los que no se observa mucha área foliar, resulta conveniente eliminar el primer fruto. También es conveniente la eliminación del primer fruto en los casos de baja luminosidad o temperatura limitante. Se puede producir aborto de flores con una baja irradiancia PAR, una elevada relación N/K y condiciones hídricas que favorezcan el crecimiento de la parte vegetativa. Un incremento en la importancia del destino debido a un mayor número de frutos cambia la distribución de materia seca. Nielsen & Viereskov (1988) encontraron que el porcentaje particionado hacia la raíz no fue afectado por la fijación de frutos, aunque a medida que la planta avanzaba reproductivamente se observó una disminución del carbono particionado a las raíces. Durante los últimos estadios de desarrollo, una restricción en la ramificación de la planta tiene un efecto comparable a un incremento en la fijación de frutos.

Los procesos de desarrollo y germinación de granos de polen dependen de la captación y metabolismo de los azúcares (Aloni *et al.*, 2001). El sombreado de las plantas determina menor producción de flores y reducción del porcentaje de cuajado. La temperatura nocturna constituye el principal factor de desarrollo en pimiento. En invernadero se consideran óptimas para el cuajado las temperaturas nocturnas de 15 °C a 18 °C y diurnas de 22 °C a 28 °C.

La fijación del fruto involucra la presencia de auxinas como un signo temprano para que este proceso se produzca, pero el agregado de giberelinas refuerza el mismo. Los resultados de Tiwari *et al.* (2012) indican que las auxinas son el inductor principal de la fijación del fruto, en parte porque inducen la biosíntesis de giberelinas. El asperjado con giberelinas no contribuye significativamente al tamaño del fruto pero parece importante en la prevención de la abscisión del mismo. Se ha encontrado una conexión vascular entre el ovulo y los carpelos en los ovarios fertilizados pero no en los que abortan por falta de fertilización. Por otro lado, se ha observado un incremento en el número y diámetro de las células que contribuyen al crecimiento temprano del fruto con el asperjado foliar con auxinas. La división celular es más importante durante el crecimiento temprano del fruto y la expansión en estadios más tardíos. Estos eventos finales se hallan asociados con un incremento significativo en la concentración de auxinas en los carpelos (Tiwari *et al.*, 2013).

El proceso de crecimiento del fruto comienza con la formación del ovario durante los primeros estadios de diferenciación floral. En el período anterior a la antesis de la flor, se determina la estructura básica del ovario, incluyendo el número de carpelos finales a la madurez del fruto. La división celular predomina durante este estadio, seguido por el alargamiento celular después de la floración, aunque la actividad de la división celular se mantiene aún hasta los estadios finales de crecimiento del fruto en las variedades de frutos grandes, especialmente en la parte basal del mismo. La formación del fruto en pimiento difiere del tomate y el zapallito en que el tamaño del ovario en el momento de la antesis no se halla positivamente correlacionado con la forma final del fruto. A partir de un ovario globular en floración, se puede formar un fruto ovoide o elongado. Los cambios en el tamaño de las células, en el plano de crecimiento y en la cantidad de divisiones celulares determinan la forma final del fruto (Munting, 1974) (Figura 4).

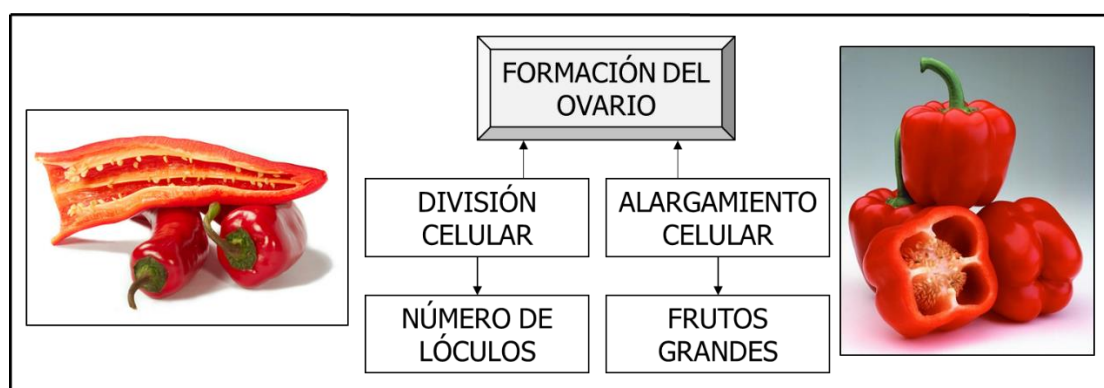


Figura 4. Formación del ovario y efectos sobre la forma y el tamaño del fruto en pimiento.

El desarrollo del fruto en pimiento puede ser dividido en tres etapas: (1) una fase inicial con una alta RGR y acumulación de hexosas, (2) una fase con declinación de RGR y acumulación de sacarosa y almidón, (3) una fase de maduración sin incremento en peso fresco, con acumulación de hexosas nuevamente, sin sacarosa y con degradación del almidón (Nielsen *et al.*, 1991).

La temperatura en la que crece la planta durante la etapa de pre-antesis también influye sobre la forma del fruto. Las altas temperaturas (35 °C) incrementan el número de lóculos sin un

aumento en el tamaño final. En las plantas que crecen en bajas temperaturas nocturnas (8 °C - 10 °C) antes de floración, el ovario tiende a ser más grande y ancho que en plantas desarrolladas en temperaturas más altas (18 °C - 20 °C). Los frutos desarrollados en bajas temperaturas tienden a una menor relación largo/ancho; el estilo persiste durante la maduración. El incremento en el tamaño del ovario no produce frutos más grandes a madurez, sin embargo, si se utiliza polen viable, el número de semillas aumenta (Ali & Kelly, 1993). Las condiciones ambientales posteriores a la antesis también afectan el desarrollo del fruto de pimiento. Un primer factor es la presencia de semilla viable. Se ha encontrado una relación lineal directa entre el número de semillas por fruto y el tamaño final del mismo. Las condiciones ambientales que afectan negativamente el crecimiento general de la planta pueden reducir el tamaño final del fruto. A medida que el número de frutos por planta se incrementa se reduce el tamaño individual. Inversamente, una restricción en la fijación de los frutos permite un mayor tamaño de los frutos remanentes sobre la planta. Por esta razón, la selección de genotipos de pimiento con frutos grandes ha dado como resultado la obtención de cultivares muy susceptibles a la abscisión de flores y yemas florales (Rylski, 1973) (Figura 5).

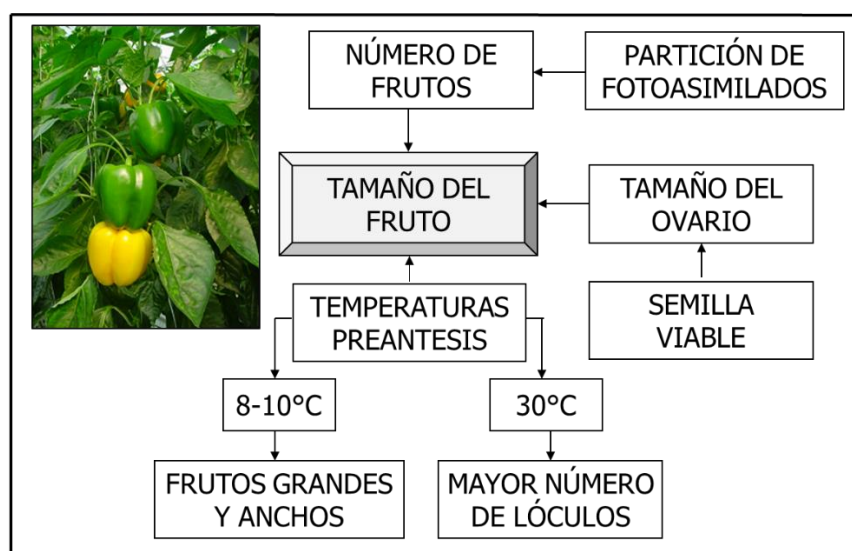


Figura 5. Factores involucrados en la determinación del tamaño del fruto en pimiento.

Los cambios en los niveles de carbohidratos durante el desarrollo del fruto en pimiento siguen patrones bien definidos. Durante la fase inicial después de antesis, el rápido crecimiento del fruto coincide con la acumulación de glucosa y fructosa, con bajos niveles de sacarosa y almidón. A medida que la tasa de crecimiento del fruto disminuye, también se acumula sacarosa y almidón. Durante la maduración se encuentra un fuerte aumento en el contenido de azúcares reducidos y una disminución de los niveles de almidón y sacarosa (Nielsen *et al.*, 1991). Los cambios en la composición de los compuestos lipofílicos y fenólicos durante la maduración de los frutos de pimiento modifican la actividad antioxidante de los mismos (Conforti *et al.*, 2007). Expresado sobre una base de peso seco, los contenidos fenólicos disminuyen durante la madurez hacia el estado 'rojo' (con valores finales por encima de 720 mg 100 g⁻¹). Con la maduración, el contenido de capsicina, carotenoides totales y beta caroteno se incrementan significativamente pero el contenido de ácido ascórbico declina progresivamente (Deepa *et al.*, 2007). Por esa razón, el momento de cosecha define la calidad nutricional de los frutos de pimiento (Ghasemnezhad *et al.*, 2011). Los frutos de pimiento están cubiertos por una delgada capa de cutícula que limita la pérdida de agua durante la pos-cosecha y se halla asociada con la calidad comercial durante la comercialización; Parsons *et*

al. (2013) han encontrado una inesperada variabilidad en la conformación de los lípidos de esta cutícula.

La formación del color rojo por acumulación de carotenoides es uno de los cambios más importantes durante la maduración del fruto en pimiento. Los cloroplastos se convierten en cromoplastos con un drástico cambio en su metabolismo (Palma *et al.*, 2015). Sin embargo, el patrón de desarrollo es diferente en los genotipos con frutos verdes que en aquellos que viran al rojo. Durante las primeras etapas de maduración, la relación clorofila *a/b* es similar en ambos genotipos pero a medida que avanza el proceso, la relación se incrementa en los que se cosechan verdes debido a un bloqueo en la degradación de la clorofila *a* (Roca & Mínguez-Mosquera, 2006). El pimiento es considerado como un fruto no climatérico, dado que no se observa el típico incremento en la producción de CO₂ y etileno durante la maduración del mismo. Sin embargo, muchos tipos de pimientos pueden ser inducidos a virar hacia el color rojo con mayor velocidad si sufren un tratamiento con etefón (Ethrel), lo que indica que los procesos de maduración no son insensibles a la acción del etileno (Govindajaran, 1985). Hay cultivares retenedores de clorofila para cuando se busca la producción de pimientos verdes, generalmente en cultivos a campo (Hornero-Méndez *et al.*, 2002). La evolución del color en pimiento se ha utilizado para desarrollar modelos capaces de predecir el momento de cosecha (Lin & Hill, 2007). El uso de bioestimulantes incrementa la actividad antioxidante, el contenido de vitamina C y de compuestos fenólicos en frutos de pimiento y son considerados una estrategia interesante para incrementar la calidad comercial con un bajo impacto sobre el ambiente (Paradicovic *et al.*, 2011).

5. Productividad comercial

La figura 6 resume los principales factores condicionantes del rendimiento comercial en pimiento.

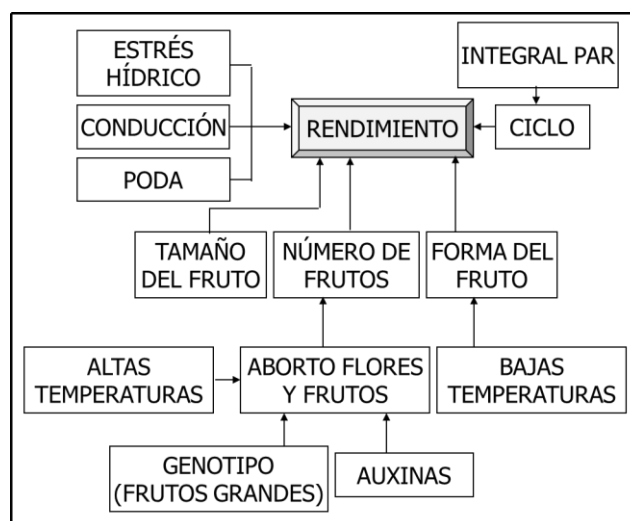


Figura 6. Esquema conceptual que incluye las principales variables involucradas en la generación del rendimiento en pimiento.

Los modelos desarrollados para describir el efecto de los factores ambientales sobre la productividad en pimiento han utilizado las variaciones en temperatura y PAR (Lin & Hill, 2008). Ityel *et al.* (2014) han indicado que el rendimiento está asociado con el aumento de la temperatura a medida que se incrementa la distancia entre el borde y el centro del canopeo. La productividad del pimiento se halla condicionada por los efectos adversos de las altas temperaturas sobre la fijación del fruto (Aloni *et al.*, 1997; Hoyer, 1998) y la influencia

negativa de las bajas temperaturas sobre la forma del fruto (Wien, 1998). Aloni *et al.* (1996) sugirieron que la capacidad de la flor para acumular azúcares y almidón durante el día es un factor importante en la determinación de la retención de la flor y de los frutos.

Cuando se comparó la fuerza de la fuente (suministro de foto-asimilados) y la fuerza del destino (demanda de foto-asimilados) para investigar hasta qué punto el aborto de flores y frutos se halla determinado por la disponibilidad de foto-asimilados, se encontró que aunque la mayor parte de la variación en el aborto puede estar relacionada con el tamaño de la fuente y la fuerza del destino de la planta, algunos efectos de los frutos competidores solo pueden explicarse por una combinación de competencia y dominancia (Marcelis *et al.*, 2004).

La influencia del nivel de irradiancia sobre la productividad en pimiento difiere si se analiza la producción bajo invernadero (forzado) durante la estación de baja irradiancia (invierno) o en cultivos conducidos a campo sin protección durante la estación primavera-estival (Bruggink, 1987). Un aumento PAR durante el invierno, en condiciones de temperatura relativamente bajas para esta especie, incrementa el rendimiento, el tamaño de los frutos (López-Marín *et al.*, 2011) y la calidad comercial (Gangadhar *et al.*, 2012). Por otro lado, los tratamientos de sombreado durante el período estival reducen los daños por escaldado de los frutos e incrementan su tamaño (Roberts & Anderson, 1994); en este último caso por un aumento del número de semillas por fruto (Pagamas & Nawata, 2008). Un incremento en la tasa fotosintética durante la maduración del fruto aumenta los rendimientos comerciales. Sin embargo, aunque la tasa fotosintética y la eficiencia en el uso del agua en diferentes variedades de pimiento son mayores bajo invernadero que en condiciones de campo sin control ambiental, no se encontraron correlaciones positivas entre los mayores rendimientos de pimiento bajo invernadero y la tasa fotosintética o la eficiencia en el uso del agua (Borisev *et al.*, 2012).

La distribución de plantas es crítica para el patrón de crecimiento y desarrollo posterior. Una baja densidad incrementa la producción por planta pero disminuye el rendimiento comercial, mientras que una alta densidad produce un efecto inverso. La conducción a dos o cuatro ramas se utiliza para facilitar la penetración de la luz dentro del canopeo. El rendimiento comercial (número y peso de frutos) por unidad de superficie se incrementa linealmente a medida que aumenta el número de ramas en crecimiento (Ahirwar & Hedau, 2015). Sin embargo, Abdullah *et al.* (2013) han mostrado que los frutos con mayores contenidos de vitamina C eran aquellos que provenían de plantas conducidas a un solo tallo. Los mayores rendimientos se encontraron con espaciamientos de 20 x 50 cm y los mayores contenidos de vitamina C con espaciamientos de 30 x 100 cm (Aminifard *et al.*, 2010, 2012). La arquitectura del cultivo afecta el desarrollo del fruto y su distribución espacial. Un canopeo cerrado adelanta la antesis y retrasa la fecha de cosecha sobre los nudos inferiores e incrementa el tiempo hasta maduración en todas las ramas y nudos. Sin embargo no influye sobre el rendimiento total. La frecuencia de cosecha de los frutos disminuye en los nudos más tardíos y en las ramas laterales en comparación con la rama principal. Los frutos producidos después de la cuarta rama lateral no alcanzan el tamaño comercializable (Gaye *et al.*, 1992). Hutton & Handley (2007) han indicado que líneas dobles de plantas producen mayor número de frutos de mayor peso que líneas simples pero de menor tamaño, lo cual afecta el rendimiento comercializable.

En el marco de cambio climático global, la producción de pimientos durante el verano bajo altos niveles de radiación y temperatura obliga al uso de tecnologías de alto costo como son las mallas de sombreado. Una estrategia alternativa es utilizar plantas injertadas. López-Marín *et al.* (2013) han encontrado incrementos de 40% en el área foliar total, 30 a 60% en la fotosíntesis neta y 30 a 50% en el rendimiento total con 6% de disminución en los frutos escaldados entre plantas injertadas o no cuando el experimento se desarrolló sin malla de sombreado.

En condiciones de campo, un insuficiente suministro hídrico puede afectar adversamente el crecimiento y la productividad del pimiento (González-Dugo *et al.*, 2007). Un estrés hídrico temprano puede restringir el crecimiento vegetativo y el desarrollo del área foliar, lo que afecta la producción total de fotoasimilados y la productividad final. Un aumento del nivel de estrés reduce drásticamente el crecimiento de la planta y la tasa de asimilación fotosintética (Ferrara *et al.*, 2011). Si el ciclo es lo suficientemente largo, la planta puede recuperarse y alcanzar una producción de hojas y frutos similares a los obtenidos en plantas sin estrés. Sin embargo, un estrés hídrico en estadios críticos puede tener efectos a largo plazo que no permitan una completa recuperación del potencial productivo de la planta. El estadio más sensible a un estrés hídrico se encuentra durante la fijación del fruto (Behboudian, 1977; Leskovar & Heineman, 1994). El suministro hídrico también afecta el número de yemas florales, el porcentaje de aborto y el rendimiento comercial. El riego suplementario modifica positivamente estas variables mientras que un exceso de agua durante 14 días determina la muerte de las plantas, aunque se han observado importantes diferencias varietales (Abdulmailik *et al.*, 2012). Una reducción del 25% o del 50% en el nivel de irrigación reduce el rendimiento entre 23% - 48 % y 50% - 75% respectivamente (Gadissa & Chemedda, 2009). Un estrés hídrico disminuye la acumulación de capscicina en pimiento (Estrada *et al.*, 1999) pero incrementa la concentración de sólidos solubles (Guang-Chen *et al.*, 2010). Se ha sugerido el uso de un pie de injerto como una alternativa a las mallas de sombreo para reducir los efectos negativos de un estrés calórico en plantas de pimiento cultivadas en invernadero (López-Marín *et al.*, 2013).

El número de frutos por planta se incrementa significativamente con concentraciones superiores a 100 kg N ha⁻¹, aunque el peso de cada fruto requiere fertilizaciones por encima de 150 kg N ha⁻¹. Por otro lado, tanto el peso fresco de cada fruto como el rendimiento total por unidad de superficie se incrementan con fertilizaciones de 30 kg P ha⁻¹ (Roy *et al.*, 2011). Aumentando la concentración de calcio y nitrógeno (como nitrato) en la rutina de fertilización se incrementan los contenidos de licopeno y beta caroteno en pimiento. La actividad hidrofílica se incrementa con concentraciones moderadas a altas de calcio mientras que la actividad lipofílica se aumenta sólo con nitratos. Los contenidos de vitamina C, azúcares y contenidos fenólicos no se modifican con cambios en la rutina de fertilización (Flores *et al.*, 2004).

La presencia de un estrés salino también modifica negativamente el rendimiento comercial; el peso fresco de frutos se ve significativamente reducido con concentraciones mayores a 10 mM de cloruro de sodio, con una disminución de casi el 95% con 150 mM de cloruro de sodio. Este resultado estuvo asociado con una disminución tanto del número de frutos por planta como del peso de cada fruto individual, aunque existen diferencias importantes entre genotipos (Chartzoulakis & Klapaki, 2000). Azuma *et al.* (2010) han indicado que los frutos son más sensibles que las hojas y los tallos a un estrés salino. El efecto de la salinidad sobre la calidad comercial en pimiento depende del estado de madurez del fruto en el momento de la cosecha; incrementa el contenido de licopeno, disminuye el contenido de ácido ascórbico y no tiene ningún efecto sobre la concentración de beta caroteno (Navarro *et al.*, 2006). La respuesta a la salinidad está asociada al genotipo utilizado (Niu *et al.*, 2010).

Las plantas en condiciones de campo generalmente no son 'defloradas' o podadas y tienden a fijar los primeros frutos si las condiciones ambientales lo permiten. La producción en estas plantas incluye los frutos presentes en las ramificaciones del tallo principal iniciadas a partir de la primera inflorescencia y los primeros nudos florales de las ramas basales. Cuando los frutos de esos nudos se hallan en activo crecimiento, se inhibe la fijación de frutos formados en nudos posteriores, de tal modo que todos los frutos con posibilidades de ser cosechados tienen la misma edad cronológica. Si la estación es suficientemente larga se puede formar una nueva camada de frutos cuando los primeros han alcanzado la madurez, incrementando el

rendimiento final por planta (Gaye *et al.*, 1992). De todas formas, el número de ramas en crecimiento tiene mayor impacto sobre la productividad comercial que la poda de frutos (Ahirwar & Hedau, 2015). Ali & Kelly (1992) encontraron un efecto inhibitorio de los frutos viejos sobre el incremento en peso, largo, diámetro y espesor de los frutos nuevos solo durante las primeras cuatro semanas desde el desarrollo de la yema floral. Un análisis histológico mostró una menor multiplicación celular en la pared del ovario de los frutos nuevos.

El rendimiento, el peso seco de raíces y el peso seco total de la planta en pimiento se incrementa linealmente a medida que la duración de la fase vegetativa se extiende por 'defloración'. En estas situaciones, la relación de peso seco fruto: peso total de la planta se incrementa mientras que la relación de peso raíz: peso total de la planta no se modifica y la relación de peso tallo: peso total de la planta y peso hojas: peso total de la planta disminuye a medida que la duración de la etapa vegetativa se incrementa (Clapham & Marsh, 1987).

El uso de plantas de pimiento injertados ha sido promocionado en los últimos años para superar situaciones de estrés abiótico (salinidad) (Schwarz *et al.*, 2010) y biótico (hongos de suelo) (Louws *et al.*, 2010). Giuffrida *et al.* (2013) han encontrado que aunque el injerto no incrementa el crecimiento en condiciones no salinas, esta técnica mejora el comportamiento en condiciones salinas. Aunque existen grandes diferencias de respuesta a diferentes patrones de injerto, las variaciones parecen estar más relacionadas con la reducción en la absorción de iones tóxicos más que a diferente capacidad de ajuste osmótico. Cuando el problema es un estrés biótico, algunos patrones son capaces de incrementar el número de frutos comercializables (Leal-Fernández *et al.*, 2013).

El uso de bacterias promotoras del crecimiento (PGPR, por sus siglas en inglés) han sido mencionadas como alternativas para incrementar los rendimientos comerciales en pimiento, aunque su uso comercial requiera aún de una exhaustiva evaluación (Del Amor & Cuadra-Crespo, 2012; Tariq *et al.*, 2014).

La producción orgánica de pimientos ha crecido durante los últimos años con la intención de disminuir la contaminación ambiental (Gómez-López & Del Amor, 2013; López *et al.*, 2013; Funsho *et al.*, 2015), aunque los resultados productivos han sido negativos. Del Amor (2006) han mostrado que el peso seco acumulado en la parte aérea y el área foliar total se redujeron en la conducción orgánica en relación con la conducción convencional. Las tasas de crecimiento relativo fueron afectadas por la concentración de nitrógeno en cada órgano y estuvieron directamente relacionadas con el método de conducción. Tanto el contenido de clorofila como la tasa fotosintética se redujeron con la conducción orgánica. Appireddy *et al.* (2008) encontraron que el número de frutos por planta y el rendimiento total se redujo alrededor de 22% cuando las plantas se conducían orgánicamente; estos autores concluyen que el precio de un pimiento orgánico debe incrementarse de 25 a 50% para compensar los mayores costos de cultivo y los menores rendimientos. Por otro lado Zayed *et al.* (2013) mostraron que el uso de fertilizantes orgánicos, solarización del suelo y la inoculación con micorrizas en forma separada o combinada incrementaron el rendimiento temprano en pimiento, generando un mayor rendimiento total a partir de un mayor número de frutos más largos y con mayor diámetro. Los pimientos orgánicos presentan mayores niveles de antioxidantes tales como carotenoides, compuestos fenólicos y vitamina C (Del Amor *et al.*, 2008; Hallmann & Rembiałkowska, 2012; Aminifard *et al.*, 2013).

Una fisiopatía que limita el rendimiento en pimiento es la podredumbre apical ('Blossom End Rot' o BER por sus siglas en inglés). Es un desorden fisiológico provocado por situaciones de estrés (alta temperatura y salinidad) y por déficits en el sistema de riego suplementario y causado por una deficiencia de calcio que se manifiesta en el extremo de los frutos como zonas circulares de color blanquecino que más tarde se deprimen, necrosándose y adquiriendo una coloración negruzca. Sobre estas zonas pueden proliferar los ataques de hongos

saprófitos. Dado que la concentración de calcio en el fruto se reduce hacia el extremo distal, el problema está asociado con la distribución de este ión dentro del mismo. Los frutos afectados por BER tienen una mayor RGR inicial del fruto que los que no sufren la fisiopatía. Sin embargo, las zonas no necróticas de los frutos afectados por BER tienen mayores concentraciones de almidón, azúcares reducidos y sacarosa que los frutos sanos (Turhan *et al.*, 2006). La concentración de calcio en el pericarpio de los frutos maduros ha sido negativamente relacionada con el tamaño final del fruto y la incidencia de BER (Marcelis & Ho, 1999). Abdel-Mawgoud *et al.* (2005) encontraron que esta fisiopatía estaba positivamente correlacionada con la acumulación de energía diaria por parte de la planta (temperatura x PAR), la RGR inicial del fruto y el tamaño del mismo. La presencia de salinidad incrementa la aparición de BER (Navarro *et al.*, 2010), por lo que Aktas *et al.* (2003) han sugerido que la reducción en las condiciones capaces de generar un estrés oxidativo (baja salinidad) podrían reducir los riesgos de aparición de BER. Por otro lado, Bar-Tal *et al.* (2001a) han indicado que un incremento en la concentración de nitrógeno amoniacal es la principal causa de reducción de la concentración de calcio en hojas y frutos y sobre la incidencia del BER. Un incremento de la concentración de potasio y calcio durante un estrés salino reduce la incidencia de BER (Rubio *et al.*, 2009). Los frutos partenocárpico son menos afectados por BER (Heuvelink & Körner, 2001).

6. Conclusiones

La información sobre los procesos fisiológicos y las variables ambientales que regulan el crecimiento y desarrollo en pimiento es abundante. La misma permite entender no sólo las relaciones causales entre diferentes procesos determinantes de la productividad comercial sino las recomendaciones tecnológicas para optimizar el rendimiento. A nivel comercial, el rendimiento es el resultado de las características genotípicas de la planta, la oferta agroclimática y la oferta tecnológica y sus complejas interrelaciones. Los factores de pre-cosecha del fruto incluyen desde la obtención del órgano de propagación (semilla), la emergencia de la plántula, el crecimiento de ésta dentro de una bandeja multicelda y el desarrollo de una biomasa fotosintetizante capaz de sostener el proceso reproductivo. Los mecanismos fisiológicos involucrados están asociados a la producción y distribución de carbohidratos. Por otro lado, los factores del ambiente regulan tanto los procesos de desarrollo (temperatura) como de crecimiento (PAR, agua y nutrientes). Los mismos han dejado de ser sólo parte de la oferta agroclimática sino que involucra una importante manipulación tecnológica (elección del genotipo, cultivo a campo o en invernadero, densidad y marco de plantación, riego y fertilización). La información recopilada en este trabajo surge como imprescindible para optimizar la productividad comercial a partir del conocimiento de los procesos e interacciones involucradas.

7. Glosario

Se incluyen las siguientes abreviaturas (por sus siglas en inglés) en forma cronológica de aparición. Para mayor información sobre los parámetros de crecimiento mencionados en este trabajo se sugiere la revisión publicada por Di Benedetto & Tognetti (2016):

- .- PAR: radiación fotosintéticamente activa
- .- LWR: relación de peso foliar
- .- LAR: relación de área foliar

- .- LAI: índice de área foliar
- .- RGR: tasa de crecimiento relativo
- .- NAR: tasa de asimilación neta
- .- RUE: eficiencia en el uso de la radiación
- .- SLA: área foliar específica
- .- SLW: peso foliar específico
- .- PGPR: bacterias promotoras del crecimiento
- .- BER: podredumbre apical del fruto

7. Bibliografía

- Abdel-Mawgoud, A.M.R.; El-Abd, S.O.; Abou-Hadid, A.F. & Sassine, Y.N. 2005. Blossom end rot of sweet pepper fruits in relation to different shoot and root conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, 4: 619-624.
- Abdullah, A.; Wahb-Allah, M.; Abdel-Razzak, H. & Ibrahim, A. 2013. Effects of pruning systems on growth, fruit yield and quality traits of three greenhouse-grown bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 7: 1309.
- Abdulmalik, M.M.; Olarewaju, J.D.; Usman, I.S. & Ibrahim, A. 2012. Effects of moisture stress on flowering and fruit set in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars. *Production in Agricultural Technology*, 8: 191-198.
- Ahirwar, C.S. & Hedau, N.K. 2015. Effect of shoot pruning on yield and quality attribute of a winter capsicum (*Capsicum annuum* L.) crops in hills protected condition. *Asian Journal of BioScience*, 10: 1-5.
- Airaki, M.; Leterrier, M.; Mateos, R.M.; Valderrama, R.; Chaki, M.; Barroso, J.B.; Del Río, L.A.; Palma, J.M. & Corpas F.J. 2012. Metabolism of reactive oxygen species and reactive nitrogen species in pepper (*Capsicum annuum* L.) plants under low temperature stress. *Plant, cell & Environment*, 35: 281-295.
- Akinbile, C.O. & Yusoff, M.S. 2011. Growth, yield and water use pattern of chilli pepper under different irrigation scheduling and management. *Asian Journal of Agricultural Research*, 5: 154-163.
- Aktas, H.; Karni, L.; Aloni, B. & Bar-Tal, A. 2003. Physiological and biochemical mechanisms leading to blossom-end rot in greenhouse-grown peppers, irrigated with saline solution. *Acta Horticulturae*, 609: 81-88.
- Aktas, H.; Abak, K. & Cakmak, I. 2006. Genotypic variation in the response of pepper to salinity. *Scientia Horticulturae*, 110: 260-266.
- Ali, A.M. & Kelly, W.C. 1992. The effects of interfruit competition on the size of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) fruits. *Scientia Horticulturae*, 52: 69-76.
- Ali, A.M. & Kelly, W.C. 1993. Effect of pre-anthesis temperature on the size and shape of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 54: 97-105.
- Aloni, B.; Pashkar, T.; Karni, L.; & Daie, J. 1991. Nitrogen supply influences carbohydrate partitioning of pepper seedlings and transplant development. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116: 995-999.
- Aloni, B.; Karni, L.; Zaidman, Z. & Schaffer, A.A. 1996. Changes of carbohydrates in pepper (*Capsicum annuum* L.) flowers in relation to their

- abscission under different shading regimes. *Annals of Botany*, 78: 163-168.
- Aloni, B.; Karni, L.; Zaidman, Z. & Schaffer, A.A. 1997. The relationship between sucrose supply, sucrose-cleaving enzymes and flower abortion in pepper. *Annals of Botany*, 79: 601-605.
- Aloni, B.; Pressman, E. & Karni, L. 1999. The effect of fruit load, defoliation and night temperature on the morphology of pepper flowers and on fruit shape. *Annals of Botany*, 83: 529-534.
- Aloni, B.; Peet, M.; Pharr, M. & Karni, L. 2001. The effect of high temperature and high atmospheric CO₂ on carbohydrate changes in bell pepper (*Capsicum annuum*) pollen in relation to its germination. *Physiologia Plantarum*, 112: 505-512.
- Appireddy, G.K.; S. Saha; B.L. Mina; S. Kundu; G. Selvakumar & Gupta, H.S. 2008. Effect of organic manures and integrated nutrient management on yield potential of bell pepper (*Capsicum annuum*) varieties and on soil properties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 54: 127-137.
- Amador-Ramírez, M.D. 2002. Critical period of weed control in transplanted chilli pepper. *Weed Research*, 42: 203-209.
- Aminifard, M.H.; Aroiee, H.; Karimpour, S. & Nemati, H. 2010. Growth and yield characteristics of paprika pepper (*Capsicum annum* L.) in response to plant density. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9: 276.
- Aminifard, M.H.; Aroiee, H.; Ameri, A. & Fatemi, H. 2012. Effect of plant density and nitrogen fertilizer on growth, yield and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 7: 859-866.
- Aminifard, M.; Aroiee, H.; Azizi, M.; Nemati, H. & Jaafar, H. 2013. Effect of compost on antioxidant components and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 14: 47-56.
- Antony, E. & Singandhupe, R.B. 2004. Impact of drip and surface irrigation on growth, yield and WUE of capsicum (*Capsicum annum* L.). *Agricultural Water Management*, 65: 121-132.
- Araki, A.; Rattin, J.; Di Benedetto, A. & Mirave, P. 2007. Temperature and cytokinin relationships on lettuce (*Lactuca sativa* L.) and celery (*Apium graveolens* L.) nursery growth and yield. *International Journal of Agricultural Research*, 2: 725-730.
- Arthur, G.D.; Stirk, W.A.; Van Staden, J. & Scott, P. 2003. Effect of a seaweed concentrate on the growth and yield of three varieties of *Capsicum annum*. *South African Journal of Botany*, 69: 207-211.
- Azuma, R.; Ito, N.; Nakayama, N.; Suwa, R.; Nguyen, N.T.; Larrinaga-Mayoral, J.Á.; Esaka, M.; Fujiyama H. & Saneoka, H. 2010. Fruits are more sensitive to salinity than leaves and stems in pepper plants (*Capsicum annum* L.). *Scientia Horticulturae*, 125: 171-178.
- Bakker, J.C. & Van Uffelen, J.A.M. 1988. The effects of diurnal temperature regimes on growth and yield of sweet pepper. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 36: 201-208.
- Balliu, A.; Bani, A. & Sulce, S. 2006. Nitrogen effects on the relative growth rate and its components of pepper (*Capsicum annum*) and eggplant (*Solanum melongena*) seedlings. *Acta Horticulturae*, 747: 257-262.
- Bar-Tal, A.; Aloni, B.; Karni, L.; Oserovitz, J.; Hazan, A.; Itach, M.; Gantz, S.; Avidan, A.; Posalski, I.; Tratkovski, N. & Rosenberg, R. 2001a. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. I. Effects of nitrogen concentration and NO₃: NH₄

- ratio on yield, fruit shape, and the incidence of blossom-end rot in relation to plant mineral composition. *HortScience*, 36: 1244-1251.
- Bar-Tal, A.; Aloni, B.; Karni, L. & Rosenberg, R. 2001b. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. II. Effects of nitrogen concentration and NO₃: NH₄ ratio on growth, transpiration, and nutrient uptake. *HortScience*, 36: 1252-1259.
- Behboudian, M.H. 1977. Water relations of cucumber, tomato and sweet pepper. *Meddelingen Landbouwhogeschool*, 77-6: 1-84.
- Ben-Chaim, A. & Paran, I. 2000. Genetic analysis of quantitative traits in pepper (*Capsicum annuum*). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125: 66-70.
- Bertram, L. & Karlsen, P. 1994. A comparison study on stem elongation of several greenhouse plants. *Scientia Horticulturae*, 59: 265-274.
- Bhutia, N. D.; Seth, T.; Shende, V.D.; Dutta, S. & Chattopadhyay, A. 2015. Estimation of heterosis, dominance effect and genetic control of fresh fruit yield, quality and leaf curl disease severity traits of chilli pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 182: 47-55.
- Bierhuizen, J.F. & Wagenvoort, W.A. 1974. Some aspects of seed germination in vegetables. 1. The determination and application of heat sums and minimum temperature for germination. *Scientia Horticulturae*, 2: 213-219.
- Borisev, M.; Krstic, B.; Gvozdenovic, D. & Gvozdanovic-Varga, J. 2012. Photosynthesis and water use efficiency relations to yield of ten pepper varieties (*Capsicum annuum* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 18: 589-594.
- Bruggink, G. T. 1987. Influence of light on the growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants in the greenhouse: Calculating the effect of differences in light integral. *Scientia Horticulturae*, 31: 175-183.
- Bruggink, G.T. & Heuvelink, E. 1987. Influence of light on the growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants in the greenhouse: effects on relative growth rate, net assimilation rate and leaf area ratio. *Scientia Horticulturae*, 31: 161-174.
- Butcher, J.D.; Crosby, K.M.; Yoo, K.S.; Patil, B.; Jifon, J.L. & Rooney, W.L. 2013. Heterosis in different F₁ *Capsicum annuum* genotypes for fruit traits, ascorbic acid, capsaicin, and flavonoids. *Scientia Horticulturae*, 159: 72-79.
- Campos, H.; Trejo, C.; Peña-Valdivia, C.B.; García-Nava, R.; Conde-Martínez, F.V. & Cruz-Ortega, M.R. 2014. Stomatal and non-stomatal limitations of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plants under water stress and re-watering: Delayed restoration of photosynthesis during recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 98: 56-64.
- Carter, A.K. & Vavrina, C.S. 2001. High temperature inhibits germination of Jalapeno and Cayenne pepper. *HortScience*, 36: 724-725.
- Cavero, J.; Ortega, R.G. & Zaragoza, C. 1995. Influence of fruit ripeness at the time of seed extraction on pepper (*Capsicum annuum*) seed germination. *Scientia Horticulturae*, 60: 345-352.
- Cavero, J.; Ortega, R.G. & Gutierrez, M. 2001. Plant density affects yield, yield components, and color of direct-seeded paprika pepper. *HortScience*, 36: 76-79.
- Chartzoulakis, K. & Klapaki, G. 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 86: 247-260.

- Choudhary, V.K.; Bhambri, M.C.; Pandey, N. & Sharma, H.G. 2012. Effect of drip irrigation and mulches on physiological parameters, soil temperature, picking patterns and yield in capsicum (*Capsicum annuum* L.). Archives of Agronomy and Soil Science, 58: 277-292.
- Clapham, W.M. & Marsh, H.V. 1987. Relationships of vegetative growth and pepper yield. Canadian Journal of Plant Science, 67: 521-530.
- Conforti, F.; Statti, G.A. & Menichini, F. 2007. Chemical and biological variability of hot pepper fruits (*Capsicum annuum* var. *acuminatum* L.) in relation to maturity stage. Food Chemistry, 102: 1096-1104.
- Coro, M.; Araki, A.; Rattin, J.; Miravé, P.; Di Benedetto A. 2014. Lettuce and celery responses to both BAP and PBZ related to the plug cell volume. American Journal of Experimental Agriculture, 4: 1103-1119.
- Ćosić, M.; Djurović, N.; Todorović, M.; Maletić, R.; Zečević, B. & Stričević, R. 2015. Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of sweet pepper. Agricultural Water Management, 159: 139-147.
- Cruz-Huerta, N.; Williamson, J.G. & Darnell, R.L. 2011. Low night temperature increases ovary size in sweet pepper cultivars. HortScience, 46: 396-401.
- Decoteau, D.R. & Graham, H.A.H. 1994. Plant spatial arrangement affects growth, yield, and pod distribution of cayenne peppers. HortScience, 29: 149-151.
- Deepa, N.; Kaur, C.; George, B.; Singh, B. & Kapoor, H.C. 2007. Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. LWT-Food Science and Technology, 40: 121-129.
- Del Amor, F.M. 2006. Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of sweet pepper plants as affected by the cultivation method. Annals Applied Biology, 148: 133-139.
- Del Amor, F.M.; A. Serrano-Martínez; I. Fortea & Núñez-Delgado, E. 2008. Differential effect of organic cultivation on the levels of phenolics, peroxidase and capsidiol in sweet peppers. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88: 770-777.
- Del Amor, F.M. & Cuadra-Crespo, P. 2012. Plant growth-promoting bacteria as a tool to improve salinity tolerance in sweet pepper. Functional Plant Biology, 39: 82-90.
- Delfino, S.; Tognetti, R.; Loreto, F. & Alvino, A. 2002. Physiological and growth responses to water stress in field-grown bell pepper (*Capsicum annuum* L.). Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 77: 697-704.
- De Lojo, J.; Gandolfo, E.; Gómez, D.; Feuring, V.; Monti, S.; Giardina, E.; Boschi, C. & Di Benedetto A. 2017. Root restriction effects on the bedding pot plant *Impatiens walleriana*. Journal of Experimental Agriculture International, 15: 1-16.
- Demir, I. & Ellis, R.H. 1992. Development of pepper (*Capsicum annuum*) seed quality. Annals of Applied Biology, 121: 385-399.
- Demir, I.; Ermis, S.; Mavi, K. & Matthews, S. 2008. Mean germination time of pepper seed lots (*Capsicum annuum* L.) predicts size and uniformity of seedlings in germination tests and transplant modules. Seed Science and Technology, 36: 21-30.
- De Pascale, S.; Ruggiero, C.; Barbieri, G. & Maggio, A. 2003. Physiological responses of pepper to salinity and drought. Journal of the American Society for Horticultural Science, 128: 48-54.
- Di Benedetto, A. 2005. Manejo de Cultivos Hortícolas: bases ecofisiológicas y tecnológicas. Orientación Gráfica Editora S.R.L., 373 páginas.

- Di Benedetto, A. & Pagani, A. 2013. Dry weight accumulation in the *Impatiens walleriana* pot plant in responses to different pre-transplant plug cell volume. *European Journal of Horticultural Science*, 78: 76-85.
- Di Benedetto, A. & Rattin, J. 2008. Transplant in sweet maize: A tool for improving productivity. *Journal: The American Journal of Plant Science and Biotechnology*, 2: 96-108.
- Di Benedetto, A. & Tognetti, J. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42: 258-282.
- Di Benedetto, A.; Molinari, J. & Rattin, J. 2006. The effect of transplant in sweet maize (*Zea mays* L.). II. Container root restriction. *International Journal of Agricultural Research*, 1: 555-563.
- Di Matteo, J.; Rattin, J. & Di Benedetto, A. 2015. Increase of spinach growth through the use of larger plug cell volume and an exogenous BAP spray. *American Journal of Experimental Agriculture*, 6: 372-383.
- Dioniso-Sese M.L. & Tobita S. 2000. Effects of salinity on sodium content and photosynthetic responses of rice seedlings differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 157: 54-58.
- Dorais, M.; Yelle, S. & Gosselin, A. 1996. Influence of extended photoperiod on photosynthate partitioning and export in tomato and pepper plants. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 24: 29-37.
- Dufault, R.J. & Schultheis, J.R. 1994. Bell pepper seedling growth and yield following pretransplant nutritional conditioning. *HortScience*, 29: 999-1001.
- El-Al, A. & Faten, S. 2009. Effect of urea and some organic acids on plant growth, fruit yield and its quality of sweet pepper (*Capsicum annum*). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5: 372-379.
- Erickson, A.N.; & Markhart, A.H. 2001. Flower production, fruit set, and physiology of bell pepper during elevated temperature and vapor pressure deficit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 126: 697-702.
- Erickson, A.N. & Markhart, A.H. 2002. Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annum* L.) to elevated temperature. *Plant, Cell & Environment*, 25: 123-130.
- Espinosa-Calderon, A.; Torres-Pacheco, I.; Padilla-Medina, J.A.; Chavaro-Ortiz, R.M.; Xoconostle-Cazares, B.; Gomez-Silva, L.; Ruiz-Medrano, R. & Guevara-Gonzalez, R.G. 2012. Relationship between leaf temperature and photosynthetic carbon in *Capsicum annum* L. in controlled climates. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 71: 528-533.
- Estrada, B.; Pomar, F.; Diaz, J.; Merino, F. & Bernal, M.A. 1999. Pungency level in fruits of the Padrón pepper with different water supply. *Scientia Horticulturae*, 81: 385-396.
- FAOSTAT 2014. Estadística. <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>.
- Ferrara, A.; Lovelli, S.; Di Tommaso, T. & Perniola, M. 2011. Flowering, growth and fruit setting in greenhouse bell pepper under water stress. *Journal of Agronomy*, 10: 12-19.
- Flores, P.; Navarro, J.M.; Garrido, C.; Rubio, J.S. & Martínez, V. 2004. Influence of Ca²⁺, K⁺ and NO₃⁻ fertilisation on nutritional quality of pepper. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84: 569-574.
- Funsho, F.E.; Oluwafemi, A.B. & Abiodun, J. 2015. Comparative evaluation of organic and inorganic manure on sweet pepper performance in two ecological zones of

- Nigeria. American Journal of Experimental Agriculture, 6: 305-309.
- Gadissa, T. & Chemed, D. 2009. Effects of drip irrigation levels and planting methods on yield and yield components of green pepper (*Capsicum annuum*, L.) in Bako, Ethiopia. Agricultural Water Management, 96: 1673-1678.
- Gandolfo, E.; Hakim, G.; Geraci, J.; Feuring, V.; Giardina, E. & Di Benedetto A. 2016. Responses of pansy (*Viola wittrockiana* Gams.) to the quality of the growing media. American Journal of Experimental Agriculture, 12: 1-10.
- Gangadhar, B.H.; Mishra, R.K.; Pandian, G. & Park, S.W. 2012. Comparative study of color, pungency, and biochemical composition in chili pepper (*Capsicum annuum*) under different light-emitting diode treatments. HortScience, 47: 1729-1735.
- Gaye, M.M.; Eaton, G.W. & Joliffe, P.A. 1992. Rowcovers and plant architecture influence development and spatial distribution of bell pepper fruit. HortScience, 27: 397-399.
- Ghasemnezhad, M.; Sherafati, M. & Payvast, G.A. 2011. Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annuum*) fruits at two different harvest times. Journal of Functional Foods, 3: 44-49.
- Giuffrida, F.; C. Cassaniti & Leonardi, C. 2013. The influence of rootstock on growth and ion concentrations in pepper (*Capsicum annuum* L.) under saline conditions. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 88: 110-116.
- Gómez-López, M.D. & del Amor, F.M. 2013. Sustainable nitrogen fertilisation in sweet pepper: assessing growth and fruit quality and the potential nitrate pollution from different organic manures. Journal of the Science of Food and Agriculture, 93: 1062-1069.
- Gonzalez-Dugo, V.; Orgaz, F. & Fereres, E. 2007. Responses of pepper to deficit irrigation for paprika production. Scientia Horticulturae, 114: 77-82.
- González-Real, M.M.; Baille, A. & Liu, H.Q. 2008. Influence of fruit load on dry matter and N-distribution in sweet pepper plants. Scientia Horticulturae, 117: 307-315.
- González-Real, M.M.; Liu, H.Q. & Baille, A. 2009. Influence of fruit sink strength on the distribution of leaf photosynthetic traits in fruit-bearing shoots of pepper plants (*Capsicum annuum* L.). Environmental and Experimental Botany, 66: 195-202.
- Govindajaran, V.S. 1985. Capsicum - production, technology, chemistry, and quality. Part I: History, botany, cultivation and primary processing. CRC Critical Review in Food Science and Nutrition, 22: 109-76.
- Guang-Cheng, S.; Na, L.; Zhan-Yu, Z.; Shuang-En, Y. & Chang-Ren, C. 2010. Growth, yield and water use efficiency response of greenhouse-grown hot pepper under time-space deficit irrigation. Scientia Horticulturae, 126: 172-179.
- Hallmann, E. & Rembiałkowska, E. 2012. Characterisation of antioxidant compounds in sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under organic and conventional growing systems. Journal of the Science of Food and Agriculture, 92: 2409-2415.
- Hammond, J.B. & Burton, K.S. 1983. Leaf starch metabolism during the growth of pepper (*Capsicum annuum*) plants. Plant Physiology, 73: 61-65.
- Hasanuzzaman, M. & Golam, F. 2011. Selection of traits for yield improvement in chilli (*Capsicum annuum* L.). Journal of Innovative Strategy, 5: 78-87.
- Heuvelink, E. & Körner, O. 2001. Parthenocarpic fruit growth reduces

- yield fluctuation and blossom-end rot in sweet pepper. *Annals of Botany*, 88: 69-74.
- Heuvelink, E.; Marcelis, L.F.M. & Körner, O. 2002. How to reduce yield fluctuations in sweet pepper? *Acta Horticulturae*, 633: 349-355.
- Hornero-Méndez, D.; Mínguez-Mosquera, M.I. 2002. Chlorophyll disappearance and chlorophyllase activity during ripening of *Capsicum annuum* L. fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82: 1564-1570.
- Hoyer, L. 1998. Silver thiosulphate can considerably reduce leaf and fruit abscission caused by ethylene in *Capsicum annuum* "Janne". *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 73: 29-34.
- Hutton, M.G. & Handley, D.T. 2007. Effects of silver reflective mulch, white inter-row mulch, and plant density on yields of pepper in Maine. *HortTechnology*, 17: 214-219.
- Ibrahim, H.M.; Olsantan, F.O. & Oyewale, R.O. 2013. Age of seedling at transplanting influenced growth and fruit yield of sweet pepper (*Capsicum annum* L. cv. Rodo). *Net Journal of Agricultural Science*, 1: 107-110.
- Iqbal, S.; Inam, A.; Inam, A.; Ashfaq, F. & Sahay, S. 2017. Potassium and waste water interaction in the regulation of photosynthetic capacity, ascorbic acid and capsaicin in chilli (*Capsicum annuum* L.) plant. *Agricultural Water Management*, 184: 201-210.
- Ityel, E.; Avraham, L.; Alon, H. & Offenbach, R. 2014. Predicting pepper fruit yield based on temperature and solar radiation. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 4: 360-367.
- Karam, F.; Masaad, R.; Bachour, R.; Rhayem, C. & Roupheal, Y. 2009. Water and radiation use efficiencies in drip-irrigated pepper (*Capsicum annuum* L.): response to full and deficit irrigation regimes. *European Journal of Horticultural Science*, 74: 79-85.
- Kaur, N.; Dhaliwal, M.S.; Jindal, S. & Singh, P. 2016. Evaluation of Hot Pepper (*Capsicum annuum* L.) Genotypes for Heat Tolerance during Reproductive Phase. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 7: 126-129.
- Kim, J.H.; Lee, J.W.; Ahn, T.I.; Shin, J.H.; Park, K.S. & Son, J.E. 2016. Sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) canopy photosynthesis modeling using 3D plant architecture and light ray tracing. *Frontiers in Plant Science*, 7.
- Kong, Q.; Li, G.; Wang, Y. & Huo, H. 2012. Bell pepper response to surface and subsurface drip irrigation under different fertigation levels. *Irrigation Science*, 30: 233-245.
- Kulkarni, M. & Phalke, S. 2009. Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annum* L.) under water stress. *Scientia Horticulturae*, 120: 159-166.
- Leal-Fernández, C.; H. Godoy-Hernández; C.A. Núñez-Colín; J.L. Anaya-López; S. Villalobos-Reyes & Castellanos, J.Z. 2013. Morphological response and fruit yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) grafted onto different commercial rootstocks. *Biological Agriculture & Horticulture*, 29: 1-11.
- Leskovar, D.I. & Cantliffe, D.J. 1993. Comparison of plant establishment method, transplant, or direct seeding on growth and yield of bell pepper. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118: 17-22.
- Leskovar, D.I. & Heineman, R.R. 1994. Greenhouse irrigation systems affect growth of 'TAM-Mild Jalapeño-1' pepper seedlings. *HortScience*, 29: 1470-1474.
- Li, S.; Rajapakse, N.C.; Young, R.E. & Oi, R. 2000. Growth responses of chrysanthemum and bell pepper

- transplants to photosensitive plastic films. *Scientia Horticulturae*, 84: 215-225.
- Liang, Y.L.; Wu, X.; Zhu, J.J.; Zhou, M.J. & Peng, Q. 2011. Response of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) to mulching practices under planted greenhouse condition. *Agricultural Water Management*, 99 111-120.
- Lin, W.C. & Hill, B.D. 2007. Neural network modelling of fruit colour and crop variables to predict harvest dates of greenhouse-grown sweet peppers. *Canadian Journal of Plant Science*, 87: 137-143.
- Lin, W.C. & Hill, B.D. 2008. Neural network modelling to predict weekly yields of sweet peppers in a commercial greenhouse. *Canadian Journal of Plant Science*, 88: 531-536.
- Locher, J.; Ombódi, A.; Kassai, T. & Dimeny, J. 2005. Influence of coloured mulches on soil temperature and yield of sweet pepper. *European Journal of Horticultural Science*, 70: 135-141.
- Loomis, W.E. 1925. Studies in the transplanting of vegetable plants. *Cornell Agricultural Experiment Station Memoir*, 87: 1-63.
- López, A.; Fenoll, J.; Hellín, P. & Flores, P. 2013. Physical characteristics and mineral composition of two pepper cultivars under organic, conventional and soilless cultivation. *Scientia Horticulturae*, 150: 259-266.
- López-Marín, J.; González, A. & Gálvez, A. 2011. Effect of shade on quality of greenhouse peppers. *Acta Horticulturae*, 893: 895-900.
- López-Marín, J.; A. González; F. Pérez-Alfocea; C. Egea-Gilabert & 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.
- Louws, F.J.; Rivard, C.L. & Kubota, C. 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Scientia Horticulturae*, 127: 127-146.
- Ma, Y.; Mathieu, A.; Wubs, A.M.; Heuvelink, E.; Zhu, J.; Hu, B.; Cournède P.H. & de Reffye, P. 2009. Parameter estimation and growth variation analysis in six *Capsicum* cultivars with the functional-structural model GREENLAB. En: *Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications (PMA)*, IEEE, 183-190.
- Marame, F.; Desalegne, L.; Fininsa, C. & Sigvald, R. 2009. Genetic analysis for some plant and fruit traits, and its implication for a breeding program of hot pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum* L.). *Hereditas*, 146: 131-140.
- Marcelis, L. F. M., & Ho, L. C. 1999. Blossom-end rot in relation to growth rate and calcium content in fruits of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Experimental Botany*, 50(332), 357-363.
- Marcelis, L.F.M.; Heuvelink, E.; Hofman-Eijer, L.B.; Den Bakker, J. & Xue, L. B. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of experimental Botany*, 55: 2261-2268.
- Marcelis, L.F.M.; Elings, A.; Bakker, M.J.; Brajeul, E.; Dieleman, J.A.; De Visser, P.H.B. & Heuvelink, E. 2006. Modelling dry matter production and partitioning in sweet pepper. *Acta Horticulturae*, 718: 121-128.
- Martí, M.C.; Camejo, D.; Vallejo, F.; Romojaro, F.; Bacarizo, S.; Palma, J.M.; Sevilla, F. & Jiménez, A. 2011. Influence of fruit ripening stage and harvest period on the antioxidant content of sweet pepper cultivars. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66: 416-423.
- Munting, A.J. 1974. Development of flower and fruit of *Capsicum annuum* L. *Acta Botanica Neerlandica*, 23: 415-32.

- Navarro, J.M.; Flores, P.; Garrido, C. & Martínez, V. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*, 96: 66-73.
- Navarro, J.M.; Garrido, C.; Flores, P. & Martínez, V. 2010. The effect of salinity on yield and fruit quality of pepper grown in perlite. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8: 142-150.
- Nielsen, T.H. & Ulvskov, P. 1992. Cytokinins and leaf development in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Planta*, 188: 78-84.
- Nielsen, T.H. & Veierskov, B. 1988. Distribution of dry matter in sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.) during the juvenile and generative growth phases. *Scientia Horticulturae*, 35: 179-187.
- Nielsen, T.H. & Veierskov, B. 1990. Regulation of carbon partitioning in source and sink leaf parts in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. Role of fructose 2, 6-bisphosphate. *Plant Physiology*, 93: 637-641.
- Nielsen, T.H.; Skjaerbaek H.C. & Karlsen P. 1991. Carbohydrate metabolism during fruit development in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Physiologia Plantarum*, 82: 311-319.
- Nilwik, H.J.M. 1981. Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) 2. Interacting effects of irradiance, temperature, and plant age in controlled conditions. *Annals of Botany*, 48: 137-45.
- Niu, G.; Rodriguez, D.S.; Call, E.; Bosland, P.W., Ulery, A. & Acosta, E. 2010. Responses of eight chile peppers to saline water irrigation. *Scientia Horticulturae*, 126: 215-222.
- Ortega, R.G.; Gutierrez, M. & Cavero, J. 2004. Plant density influences marketable yield of directly seeded 'Piquillo' pimiento Pepper. *HortScience*, 39: 1584-1587.
- Pagamas, P. & Nawata, E. 2008. Sensitive stages of fruit and seed development of chili pepper (*Capsicum annuum* L. var. Shishito) exposed to high-temperature stress. *Scientia Horticulturae*, 117: 21-25.
- Pagani, A.; Molinari, J.; Lavado, R.S. & Di Benedetto A. 2015. Behavior of *Impatiens wallerana* Hook. F in alternative pot substrates: mechanisms involved and research perspectives. *Journal of Plant Nutrition*, 38: 2185-2203.
- Palma, J.M.; Sevilla, F.; Jiménez, A.; Luis, A.; Corpas, F.J.; de Morales, P.Á. & Camejo, D.M. 2015. Physiology of pepper fruit and the metabolism of antioxidants: chloroplasts, mitochondria and peroxisomes. *Annals of Botany*, 116: 627-636.
- Parađiković, N.; Vinković, T.; Vinković Vrček, I.; Žuntar, I.; Bojić, M. & Medić-Šarić, M. 2011. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 2146-2152.
- Paran, I. & van der Knapp, E. 2007. Genetic and molecular regulation of fruit and plant domestication traits in tomato and pepper. *Journal of Experimental Botany*, 58: 3841-3852.
- Parsons, E.P.; Popovskey, S.; Lohrey, G.T.; Alkalai-Tuvia, S.; Perzelan, Y.; Bosland, P.; Bebeli, P.J.; Paran, I.; Fallik, E. & Jenks, M.A. 2013. Fruit cuticle lipid composition and water loss in a diverse collection of pepper (*Capsicum*). *Physiologia Plantarum*, 149: 160-174.
- Rahman, M.J. & Inden, H. 2012: Effect of nutrient solution and temperature on capsaicin content and yield contributing characteristics in six sweet pepper (*Capsicum annuum* L.)

- cultivars. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10: 524-529.
- Randle, W.M. & Honma, S. 1981. Dormancy in peppers. *Scientia Horticulturae*, 14: 19-25.
- Roberts, B.W. & Anderson, J.A. 1994. Canopy shade and soil mulch affect yield and solar injury of bell pepper. *HortScience*, 29: 258-260.
- Roca, M. & Mínguez-Mosquera, M. I. 2006. Chlorophyll catabolism pathway in fruits of *Capsicum annuum* (L.): stay-green versus red fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 4035-4040.
- Romic, D.; Romic, M.; Borosic, J. & Poljak, M. 2003. Mulching decreases nitrate leaching in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation. *Agricultural Water Management*, 60: 87-97.
- Roy, S.S.; Khan, M.S.I. & Pall, K.K.K.K. 2011. Nitrogen and phosphorus efficiency on the fruit size and yield of capsicum. *Journal of Experimental Sciences*, 2: 32-37.
- Rubio, J.S.; García-Sánchez, F.; Rubio, F. & Martínez, V. 2009. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K⁺ and Ca²⁺ fertilization. *Scientia Horticulturae*, 119: 79-87.
- Russo, V.M. & Howard, L.R. 2002. Carotenoids in pungent and non-pungent peppers at various developmental stages grown in the field and glasshouse. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82: 615-624.
- Rylski, I. 1972. Effect of the early environment on flowering in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 97: 648-51.
- Rylski, I. 1973. Effect of night temperature on shape and size of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 98: 149-152.
- Schwarz, D.; Roupael, Y.; Colla, G. & Venema, J.H. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127: 162-171.
- Serrano, A.R. & Guerra-Sanz, J.M. 2006. Quality fruit improvement in sweet pepper culture by bumblebee pollination. *Scientia Horticulturae*, 110: 160-166.
- Shaked, R.; Rosenfeld, K. & Pressman, E. 2004. The effect of low night temperatures on carbohydrates metabolism in developing pollen grains of pepper in relation to their number and functioning. *Scientia Horticulturae*, 102: 29-36.
- Shetty, G.R. & Manohar, R.K. 2008. Influence of pruning and growth regulators on flowering, fruit set and yield of coloured capsicum (*Capsicum annuum* L.) cv. OROBELLE under naturally ventilated greenhouse. *Asian Journal of Horticulture*, 3: 213-216.
- Shin, J.H.; Park, J.S. & Son, J.E. 2014. Estimating the actual transpiration rate with compensated levels of accumulated radiation for the efficient irrigation of soilless cultures of paprika plants. *Agricultural Water Management*, 135: 9-18.
- Shipp, J.L.; Whitfield, G.H. & Papadopoulos, A.P. 1994. Effectiveness of the bumblebee, *Bombus impatiens* Cr. (Hymenoptera; Apidae) as a pollinator of glasshouse sweet pepper. *Scientia Horticulturae*, 57: 29-39.
- Stagnari, F. & Pisante, M. 2012. Slow release and conventional N fertilizers for nutrition of bell pepper. *Plant Soil Environment*, 58: 268-274.
- Steer, B.T. & Pearson, C.J. 1976. Photosynthate translocation in *Capsicum annuum*. *Planta*, 128: 155-162.
- Tadesse, T.; Hewett E.W.; Nichols M.A. & Fisher K.J. 2002. Changes in

- physicochemical attributes of sweet pepper cv. Domino during fruit growth and development. *Scientia Horticulturae*, 93: 91-103.
- Tariq, M.; Ali, Q.; Khan, A.; Khan, G.A.; Rashid, B.; Rahi, M.S.; Ali, A.; Nasir, I.A. & Husnain, T. 2014. Yield potential study of *Capsicum annuum* L. under the application of GPR. *Advancements in Life Sciences*, 1: 202-207.
- Thomas, L.P. & Watson, M.A. 1988. Leaf removal and the apparent effects of architectural constraints on development in *Capsicum annuum*. *American Journal of Botany*, 75: 840-843.
- Tiwari, A.; Vivian-Smith, A.; Voorrips, R.E.; Habets, M.E.; Xue, L.B.; Offringa, R. & Heuvelink, E. 2011. Parthenocarpic potential in *Capsicum annuum* L. is enhanced by carpelloid structures and controlled by a single recessive gene. *BMC Plant Biology*, 11: 143.
- Tiwari, A.; Offringa, R. & Heuvelink, E. 2012. Auxin-induced fruit set in *Capsicum annuum* L. requires downstream gibberellin biosynthesis. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31: 570-578.
- Tiwari, A.; Vivian-Smith, A.; Ljung, K.; Offringa, R. & Heuvelink, E. 2013. Physiological and morphological changes during early and later stages of fruit growth in *Capsicum annuum*. *Physiologia Plantarum*, 147: 396-406.
- Turhan, E.; Aktas, H.; Deventurero, G.; Karni, L.; Bar-Tal, A. & Aloni, B. 2006. Blossom-end rot is associated with impairment of sugar metabolism and growth of pepper (*Capsicum annuum* L.) fruits. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81: 921-927.
- Ulsvkov, P.; Nielsen, T.H.; Seiden, P.; Marcussen J. 1992. Cytokinins and leaf development in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) I. Spatial distribution of endogenous cytokinins in relation to leaf growth. *Planta*, 188: 70-77.
- Urrestarazu, M.; Guzman, M.; Sanchez, A.; Salas M.C.; Quero S. & Carrasco, G. 1999. A comparison of qualitative and quantitative productivity parameters between a sweet pepper crop growing on "enarenado almeriense" and on rockwool. *Acta Horticulturae*, 481: 63-69.
- Vieira, M.I.; de Melo-Abreu, J.P.; Ferreira, M.E. & Monteiro, A.A. 2009. Dry matter and area partitioning, radiation interception and radiation-use efficiency in open-field bell pepper. *Scientia Horticulturae*, 121: 404-409.
- Watkins, J.T. & Cantliffe, D.J. 1983. Mechanical resistance of the seed coat and endosperm during germination of *Capsicum annuum* at low temperature. *Plant Physiology*, 72: 146-150.
- Wien, H.C. 1998. Peppers. En: *The Physiology of Vegetable Crops* (ed. A. Wien), Cap. 7: 259-293. CAB Publishing.
- Wubs; A.M.; Ma, Y.; Heuvelink, E. & Marcelis, L.F.M. 2009a. Genetic differences in fruit-set patterns are determined by differences in fruit sink strength and a source: sink threshold for fruit set. *Annals of Botany*, 104: 957-964.
- Wubs, A.M.; Heuvelink, E. & Marcelis, L.F.M. 2009b. Abortion of reproductive organs in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.): a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 84: 467-475.
- Xu, G. & Kafkafi, U. 2003. Seasonal differences in mineral content, distribution and leakage of sweet pepper seeds. *Annals of Applied Biology*, 143: 45-52.
- Zayed, M.S.; Hassanein, M.K.K.; Esa, N.H. & Abdallah, M.M.F. 2013. Productivity of pepper crop (*Capsicum annuum* L.) as affected by

organic fertilizer, soil solarization, and endomycorrhizae. *Annals of Agricultural Sciences*, 58: 131-137.

Zeman, E. 2011. Comparación de diferentes modelos de aplicación de tecnologías en la producción de pimiento seco para pimentón

(*Capsicum annuum* L.) en el área de riego de Santiago del Estero, Argentina. Tesis Especialidad en Cultivos Intensivos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral. 28 p.