

**Rasgos morfo-fisiológicos y de crecimiento en plantas de hortalizas (Solanaceae)
cultivadas a pleno sol y bajo paneles fotovoltaicos, en un techo verde de Bucaramanga,
Santander.**

David Leonardo Atuesta Hernández.

Trabajo de Grado para Optar por el título de Biólogo.

Tutor:

**Nelson F. Rodríguez López
MSc, PhD. Fisiología Vegetal**

Co-tutor:

**Miquel González Méler
PhD. Biología Vegetal**

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ciencias
Escuela de Biología
Bucaramanga
2021**

Dedicatoria

Doy gracias a Dios por concederme a mi familia, a la que dedico de manera especial éste logro, ya que ha sido mi pilar fundamental en mi formación académica. Mi papá por su apoyo económico con muchos sacrificios, mi mamá por su apoyo moral incondicional y cuidado desinteresado y a mis hermanas por su ayuda en momentos importantes durante la realización de éste trabajo de grado.

Agradecimientos

Le agradezco enormemente a mi profesor y director de tesis Nelson Rodríguez López, por brindarme su conocimiento, apoyo y guía en mi desarrollo profesional; también a la Doctora Silvia Barrera y los evaluadores, por compartirme y enseñarme herramientas fundamentales para la realización de mi tesis y a mis compañeros que pertenecieron y pertenecen al grupo de investigación GIEFIVET, especialmente a mi amigo Carlos Julián Vásquez, cuya ayuda fue fundamental durante el desarrollo del experimento. Igualmente agradezco al grupo de investigación GISEL y al profesor German Alfonso Osma, por hacer posible la realización del proyecto donde se ejecutó mi trabajo de grado. Finalmente a la Universidad Industrial de Santander y su Escuela de Biología por los conocimientos adquiridos.

Tabla de Contenido

Introducción.....	10
1. Objetivos.....	14
1.1 Objetivo General del Pasante.....	14
1.2 Objetivos Específicos	14
2.Competencias de la Pasantía de Investigación	15
3. Materiales y Métodos	16
3.1Descripción del Sitio	16
3.2Variables Microclimáticas	17
3.3Material Vegetal y Condiciones del Experimento	18
3.4 Control de Factores Abióticos y Bióticos.....	19
3.5Evaluaciones Morfo-fisiológicas	19
3.6Análisis estadísticos	20
4. Resultados y Discusión.....	21
4.1Parámetros Microclimáticos	21
4.2Acumulación de Biomasa en las Plantas	24
4.3Rasgos de Crecimiento en las Plantas	26
4.3.1Asignación de Biomasa	26
4.3.2 Fracciones de Biomasa	27
4.3.3 Razones Alométricas	29
4.4 Rasgos Morfológicos en las Plantas.....	31
4.5Masa Fresca y Número de Frutos	35

4.6 Variables Fisiológicas	38
4.6.1 Potencial Hídrico Foliar (Ψ_w)	38
4.6.2 Eficiencia Cuántica del Fotosistema II (Fv/Fm)	41
4.7 Fenología de las Plantas	44
4.7.1 Acumulación de Grados Día ($^{\circ}\text{C-día}$)	44
5. Conclusiones	47
Referencias Bibliográficas	49

Lista de Figuras

Figura 1. Edificio de Ingeniería Eléctrica de la UIS	16
Figura 2. Plántulas jóvenes.....	17
Figura 3. Plántulas adultas.....	17
Figura 4. Comparación de radiación fotosintéticamente activa (RFA), temperatura ambiente y humedad relativa.....	23
Figura 5. Biomasa seca total.....	24
Figura 6. Rasgos de crecimiento.....	29
Figura 7. Número y masa fresca de frutos maduros	37
Figura 8. Potencial hídrico foliar	40
Figura 9. Eficiencia cuántica del fotosistema II	43
Figura 10. Acumulación de grados día (°C-día).....	46

Lista de Tablas

Tabla 1. Rasgos de crecimiento	26
Tabla 2. Razones alométricas	30
Tabla 3. Rasgos morfológicos	34

Resumen

Título: Rasgos morfo-fisiológicos y de crecimiento en plantas de hortalizas (Solanaceae) cultivadas a pleno sol y bajo paneles fotovoltaicos, en un techo verde de Bucaramanga, Santander.*

Autor: David Leonardo Atuesta Hernández**

Palabras Clave: *Solanum sp.*, *Capsicum sp.*, biomasa, fenología, agricultura fotovoltaica urbana.

Descripción: Este trabajo se realizó en el marco de un proyecto ejecutado en la Universidad Industrial de Santander, cuyo objetivo fue implementar una alternativa sostenible que supla la demanda energética, la demanda alimenticia y la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero-GEI, con la instalación de Paneles Fotovoltáicos-PFV, en asocio con plantas hortícolas. Se evaluó la capacidad de aclimatación de las plantas de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* var. Cerasiforme), berenjena larga (*Solanum melongena* var. Larga) y pimentón dulce (*Capsicum annuum* var. Wonder), expuestas a plena exposición solar y bajo el sombrío provocado por los PFV (PFVs). Los resultados obtenidos evidenciaron que la mayoría de los rasgos morfológicos y de crecimiento fueron significativamente mayores en las plantas de pimentón cultivadas bajo el PFVs. En contraste, la magnitud de las diferencias para los rasgos morfológicos y de crecimiento fueron significativamente mayores en las plantas de berenjena y de tomate cherry, cultivadas a plena exposición solar, especialmente, en la acumulación de biomasa seca total (BST) y en la producción de frutos. En los rasgos fisiológicos evaluados, el potencial hídrico (Ψ_w) no mostró diferencias entre tratamientos y en la eficiencia fotoquímica, (Fv/Fm), aunque hubo diferencias significativas entre las plantas expuestas a pleno sol, evaluadas antes y después del mediodía, no mostraron señales de daño fotoquímico. Las plantas se aclimataron a las condiciones bajo el PFVs con reducción significativa en la acumulación de BST, menor número y masa fresca de frutos, con alteraciones en las etapas fenológicas, y aunque no registraron condiciones de estrés, quizás eso les impidió alcanzar un mayor desempeño fisiológico y productivo. Por lo tanto, los espacios debajo de los PFV pueden ser aprovechados para el cultivo y la producción de las hortalizas utilizadas en este estudio, con prácticas de manejo adecuadas, en los sistemas de techos verdes en Bucaramanga, Santander.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ciencias. Escuela de Biología.

Director: Nelson Facundo Rodríguez López. MSc, PhD. Fisiología Vegetal

Abstract

Title: Morpho-physiological and growth traits in plants of vegetables (Solanaceae) cultivated in full sun and under photovoltaic panels, on a green roof. *

Author: David Leonardo Atuesta Hernández**

Key words : *Solanum sp.*, *Capsicum sp.*, biomass , phenology, urban photovoltaic agriculture.

Description: This work was carried out within the framework of a project that was developed at the Industrial University of Santander, whose objective was to implement a sustainable alternative that supplies energy demand, food demand and the mitigation of the emission of greenhouse gases-GHG, with the installation of Photovoltaic Panels-PFV, in association with horticultural plants. Was evaluated the acclimation capacity of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* var. Cerasiforme), eggplant (*Solanum melongena* var. Larga) and sweet pepper (*Capsicum annuum* var. Wonder) plants, exposed to full sun and under the shade provoked by the PFV (PFVs). The results obtained showed that various of the morphological and growth traits were significantly higher in the sweet pepper plants cultivated under the PFVs. In contrast, the magnitude of the differences for the morphological and growth rates were significantly higher in the eggplant and cherry tomato plants, grown under full sun exposure, especially, in the accumulation of total dry biomass (BST) and in the production of fruits. In the physiological traits evaluated, the water potential (Ψ_w) did not show differences between treatments and in the photochemical efficiency, (F_v / F_m), although there were significant differences going between plants exposed to full sun, evaluated before and after noon, showed no signs of photochemical damage. The plants were acclimated to the conditions under the PFVs with a significant reduction in the accumulation of BST, a lower number and fresh mass of fruits, with alterations in the phenological stages, and although the plants did not register conditions of stress, perhaps that prevented them from achieving a higher physiological and productive performance. Therefore, the spaces under the PFV can be used for the cultivation and production of the vegetables used in this study, with adequate management practices, in the green-roof systems at Bucaramanga, Santander.

***Degree Work**

**** Faculty of Sciences, School of Biology.**

Director: Nelson Facundo Rodríguez López. MSc, PhD. Plant Physiology.

Introducción

El aumento de la población mundial y la demanda energética, asociada a la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), ha incrementado el uso de los paneles fotovoltaicos solares (PFV), como una de las estrategias sostenibles para mitigar el denominado calentamiento global, debido al incremento de emisiones de los GEI. La generación de energía a partir de la radiación solar es una alternativa sostenible para suplir la demanda energética tanto en zonas urbanas como rurales -agricultura fotovoltaica- (Sampaio & González, 2017).

Adicionalmente, la pérdida de vegetación y zonas verdes ha intensificado el uso de “techos verdes” en las edificaciones, usualmente, con especies ornamentales, para reducir los impactos sobre la variación climática local ya que pueden contribuir a la reducción del CO₂ atmosférico (Ohyama *et al.*, 2008). Sin embargo, la viabilidad del uso de especies hortícolas asociadas a los PFV en techos de edificaciones urbanas bajo las condiciones de clima cálido tropical, no ha sido muy implementada en Colombia.

La siembra de las plantas asociadas a los PFV instalados en techos verdes, puede ser beneficiosa debido a que la evaporación del agua del suelo y la transpiración de las plantas, respectivamente, podrían atenuar las concentraciones del CO₂ atmosférico, fuera o debajo de los PFV, (Kuronuma *et al.*, 2018). No obstante, poco se sabe acerca del desempeño de plantas de especies hortícolas, cultivadas en techos verdes asociadas a los PFV, en dónde estas pueden capturar el carbono atmosférico (Saadatian *et al.*, 2013) y ofrecer alimentos nutritivos en las unidades familiares en zonas urbanas (Hynes & Howe, 2002).

Una condición limitante para especies vegetales que crecen bajo PFV, es la sombra, aspecto de gran relevancia es la porción visible del espectro electromagnético, comprendida entre los 400 a 700 nm y conocida como radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Krizek, 2004). De ese modo, el uso de categorías como “plantas de sol” y “plantas de sombra” para definir el ambiente lumínico de una planta, usualmente, también se le considera inadecuado, al ser la luz un factor abiótico muy heterogéneo, además, dependiendo de la especie vegetal, lo que es “sombra” para una determinada especie vegetal entra dentro del rango de “sol” para otras (Valladares & Sánchez-Gómez, 2004). Sin embargo, existen dos extremos en el gradiente del factor lumínico que afectan la eficiencia fotosintética y por ende, el rendimiento de las plantas, el exceso de radiación solar y la ausencia de la misma.

Cuando las plantas tienen un exceso de luz incidente, más allá de la utilizada en su fotosíntesis, sufren un fenómeno conocido como estrés lumínico, que si bien al principio estas condiciones de radiación elevada generan un aumento en la fijación de CO₂, después la planta será incapaz de utilizar toda la radiación disponible; razón por la cual, debe mitigarla a través de la disipación de energía térmica y de mecanismos fotoprotectores que prevengan la inactivación del PSII. No obstante, la prolongación a la condición de luz adversa tiende a dañar el aparato fotosintético (Sharma *et al.*, 2019).

Por otro lado, el estrés causado por la baja disponibilidad de luz, limita la fotosíntesis y en consecuencia el crecimiento de las plantas, pero puede ser beneficiosa en ecosistemas áridos al reducir el sobrecalentamiento, la transpiración excesiva y la fotoinhibición, también, la tolerancia a la sombra que muestra una misma especie bajo distintas condiciones ambientales puede ser distinta. Por ejemplo, la tolerancia a la sombra varía, con tendencia a disminuir,

cuando el agua es limitante, y en el caso contrario, cuando el factor hídrico se mantiene controlado (Valladares & Sánchez-Gómez, 2004).

En los techos verdes como sistemas productivos, se ha utilizado una amplia variedad de especies vegetales de interés agrícola como el frijol (*Phaseolus vulgaris*), pepino (*Cucumis sativus*), pimentón (*Capsicum spp*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) (Whittinghill *et al.*, 2013), que mediante su producción sostenible, ha generado beneficios económicos (Whittinghill & Rowe, 2011). Entre los géneros económicamente importantes utilizados en estos agrosistemas hortícolas, están *Solanum* y *Capsicum* (Familia Solanaceae). Muchas especies de estos dos géneros representan una parte importante de la dieta humana tales como el tomate, la berenjena (*Solanum melongena*) y el pimentón (Wang *et al.*, 2015).

En Colombia y el mundo, el tomate, la berenjena y el pimentón son tres de los vegetales más cultivados, y cuentan con gran importancia para el consumo humano (Wang *et al.*, 2015) al ser fuente de vitaminas, minerales y fibra (Razdan & Mattoo, 2007). El último reporte de evaluación agropecuaria del MinAgricultura en Colombia fue en el año 2017, donde la producción de tomate fue de 183.419,65 t producidas en 7.283,07 ha con un rendimiento promedio de 25,18 ton/h, la producción de berenjena fue de 4603,78 t producidas en 601,32 ha, con un rendimiento promedio de 7,66 ton/h y la de producción de pimentón fue de 63.946 t producidas en 2.623 ha, con un rendimiento promedio de 24,38 ton/h (Agronet, 2020).

La información disponible en Colombia sobre la combinación de techos verdes y paneles fotovoltaicos, se limita principalmente a cubiertas vegetales compuestas de plantas ornamentales y poco se ha explorado la posibilidad de combinar la producción de energías limpias con la

producción de plantas hortícolas para el consumo humano, especialmente en climas tropicales y subtropicales (Hui & Chan, 2011).

Con lo expuesto anteriormente, el objetivo de la pasantía de investigación fue evaluar la aclimatación de plantas de tomate, berenjena y pimentón, expuestas a pleno sol y bajo el PFVs, en un techo verde del edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. En las plantas objeto de estudio se compararon rasgos morfológicos, de crecimiento y fisiológicos.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General del Pasante

Evaluar la aclimatación de plantas de *Solanum lycopersicum* var. Cerasiforme, *Solanum melongena* var. Larga y *Capsicum annuum* var. Wonder, expuestas a pleno sol y bajo el PFVs.

1.2 Objetivos Específicos

1. Establecer las fases fenológicas de las plantas expuestas a pleno sol y bajo el PFVs
2. Determinar las variaciones en rasgos morfológicos y fisiológicos foliares de las plantas expuestas a pleno sol y bajo el PFVs
3. Precisar la influencia sobre el crecimiento y la asignación de biomasa en las plantas expuestas a pleno sol y bajo el PFVs

2. Competencias de la Pasantía de Investigación

Las competencias y habilidades técnico-científicas que el estudiante adquiere durante el desarrollo de la pasantía, a partir de un proceso de restauración ecológica previamente establecido, son las siguientes:

- 1.** Desarrollo de metodologías para la propagación en vivero y siembra de plantas hortícolas en un techo verde.
- 2.** Aplicación de la metodología para establecer la fenología en plantas hortícolas asociadas a PFV en un techo verde.
- 3.** Uso de la metodología para la obtención de los datos de los rasgos morfológicos, fisiológicos y del crecimiento en plantas hortícolas asociadas a PFV en un techo verde.
- 4.** Manejo de los equipos y elementos para la obtención de los datos de los rasgos morfológicos y fisiológicos en plantas hortícolas asociadas a PFV en un techo verde.
- 5.** Análisis de los datos obtenidos y aplicación de los procedimientos estadísticos adecuados.
- 6.** Exposición ante la comunidad académica de los resultados del trabajo desarrollado durante la pasantía de investigación.

3. Materiales y Métodos

3.1 Descripción del Sitio

El trabajo fue desarrollado en el techo del edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander, en el municipio de Bucaramanga, Colombia, entre los meses de Marzo/2019 y Mayo/2019.

Figura 1

Edificio de Ingeniería Eléctrica de la UIS.



Nota. Techos verdes asociados a PFV sobre el Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. Tomado de El Espectador.

3.2 Variables Microclimáticas

En este trabajo se utilizaron dos estaciones microclimáticas HOBO (Onset Computer Corporation, USA), con sensores de radiación fotosintéticamente activa (RFA, $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), humedad relativa (HR, %) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) conectados a un colector de datos. Las estaciones microclimáticas fueron instaladas debajo de los PFV y por fuera de los mismos, sin ningún tipo de restricción para la radiación incidente sobre la terraza del edificio.

Figura 2

Plántulas jóvenes.



Nota. Plántulas jóvenes expuestas a plena exposición solar (izquierda) y plantas expuestas al PFVs (derecha).

Figura 3

Plantas adultas.



Nota. Plantas adultas expuestas a plena exposición solar (izquierda) y plantas expuestas al PFVs (derecha).

3.3 Material Vegetal y Condiciones del Experimento

En el invernadero de la escuela de Biología se sembraron dos semillas de cada una de las especies a una profundidad de 1,5 cm, en 60 tubetes de polietileno de 12 cm de largo y 4 cm de diámetro (AYP de Colombia SAS, Colombia), que contenían 200 g de un sustrato, resultado de la mezcla de suelo, arena y materia orgánica (caprinaza+gallinaza) y cascarilla de arroz (3:1:1:1).

Se utilizaron semillas de tomate, berenjena y pimentón producidas por Semillas Arroyave,[®] Colombia. Las plántulas emergidas, se irrigaron cada dos días según sus requerimientos hasta que emitieron tres folíolos completamente desarrollados. Las plántulas fueron trasplantadas en los sitios definitivos del experimento en el techo verde de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UIS.

Previamente, se preparó un sustrato con suelo, arena y materia orgánica (caprinaza+gallinaza) y cascarilla de arroz (3:1:1:1), para el llenado de las parcelas experimentales que fueron constituidas por cuatro surcos de 8m de longitud, 50 cm de ancho y una profundidad de 20 cm, debajo y por fuera de los paneles. Al momento de la siembra, se aplicaron por planta 5 g de micorrizas (Fungifert Biotechnology SAS [®] Colombia), 5 g de *Bacillus subtilis* y 5 g *Trichoderma harzianum*.

3.4 Control de Factores Abióticos y Bióticos

La disponibilidad hídrica se mantuvo controlada, durante todo el periodo de cultivo. También se le brindaron a las plantas los cuidados nutricionales, según los requerimientos de cada etapa fenológica.

Asimismo se realizaron podas de formación y producción siguiendo las recomendaciones definidas para el cuidado de estas especies hortícolas, que consiste en quitar lo que se conoce como “chupones”, o vástagos que brotan de las yemas de las ramas principales, en tallos o raíces, estructuras que generan un consumo energético muy alto según la literatura consultada (Aljaro, 1990).

De igual forma, se controlaron las plagas que afectaron las plantas, mediante el uso de productos de origen orgánico basados en ajo (*Allium sativum*) y tabaco (*Nicotiana tabacum*), de manera preventiva y en algunos casos, correctiva.

3.5 Evaluaciones Morfo-fisiológicas

Las fases fenológicas de las plantas fueron estimadas mediante evaluaciones que se realizaron cada 5 días. Se utilizó el cálculo de los grados día ($^{\circ}\text{C-día}$) o unidades de calor acumuladas (UCA) (Perry *et al.*, 1986; Murray, 2008), que es un índice calculado con base en la suma diaria de la diferencia entre la temperatura media y la temperatura base para cada etapa fenológica. Los $^{\circ}\text{C-día}$ permiten también estimar el tiempo necesario para que una planta alcance su madurez o una cierta etapa de desarrollo.

Las actividades relacionadas a continuación, se realizaron en seis plantas de cada especie cultivadas a pleno sol y bajo el PFVs. Las evaluaciones de las variables fisiológicas se realizaron al inicio de la floración y en plena formación de frutos. Se midieron las variables fisiológicas foliares asociadas con el estado hídrico: el potencial hídrico (Ψ_w) mediante el uso de una bomba de presión tipo Schollander (Soil Moisture, Corp[®], USA) y fluorescencia de la clorofila a, mediante el uso de un equipo portátil MINI PAM II[®] (Germany), durante el periodo diurno desde las 07:00 a 10:00 horas.

Los parámetros mencionados se midieron en al menos seis individuos de cada una de las especies en ambas condiciones de crecimiento. Las evaluaciones de los rasgos morfológicos, de crecimiento y asignación de biomasa se realizaron al final del experimento cuando se cosecharon los frutos de las plantas.

Se midieron los siguientes rasgos morfológicos en seis plantas cultivadas en las diferentes condiciones de crecimiento: altura de la planta (AP - cm); cantidad de hojas (NH); número de ramas secundarias (NRS) y terciarias (NRT), longitud de ramas secundarias (LRS - cm) y ramas terciarias (LRT - cm); longitud de la raíz (LR - cm) y diámetro del tallo (DT - mm); biomasa seca total (BST - g), biomasa seca foliar (BSF - g); biomasa seca de la rama ortotrópica (BSO - g), de la rama plagiotrópica (BSP - g) y de la raíz (BSR - g); y las razones alométricas entre esos órganos según Poorter & Nagel, (2000) y Rodríguez-López *et al.*, (2014). Además, se realizó al final del experimento la evaluación del número y peso de frutos/planta en estado de madurez.

3.6 Análisis estadísticos

El experimento fue conducido bajo un diseño completamente aleatorizado con seis repeticiones (individuos o plantas) bajo un esquema factorial 2 x 3. Con los datos obtenidos se realizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene. Dependiendo de si los datos pasaban estas pruebas se realizó un ANAVA, seguido de una prueba de comparación de medias (Prueba de T-Student) o un análisis de Kruskal- Wallis (comparación de medianas).

4. Resultados y Discusión

4.1 Parámetros Microclimáticos

Durante el período experimental, las plantas de las tres especies evaluadas, cultivadas debajo de los PFV, experimentaron una disminución de aproximadamente un 40% en la disponibilidad de la luz. Bajo los PFV la RFA total registrada fue de 421.861,99 $\mu\text{moles m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y la RFA promedio disponible diaria fue de 7.401,08 $\mu\text{moles m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Fig. 4A); mientras que, a pleno sol la RFA total fue de 703.103,33 $\mu\text{moles m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y la RFA promedio disponible diaria fue de 12.335,15 $\mu\text{moles m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Fig. 4-A).

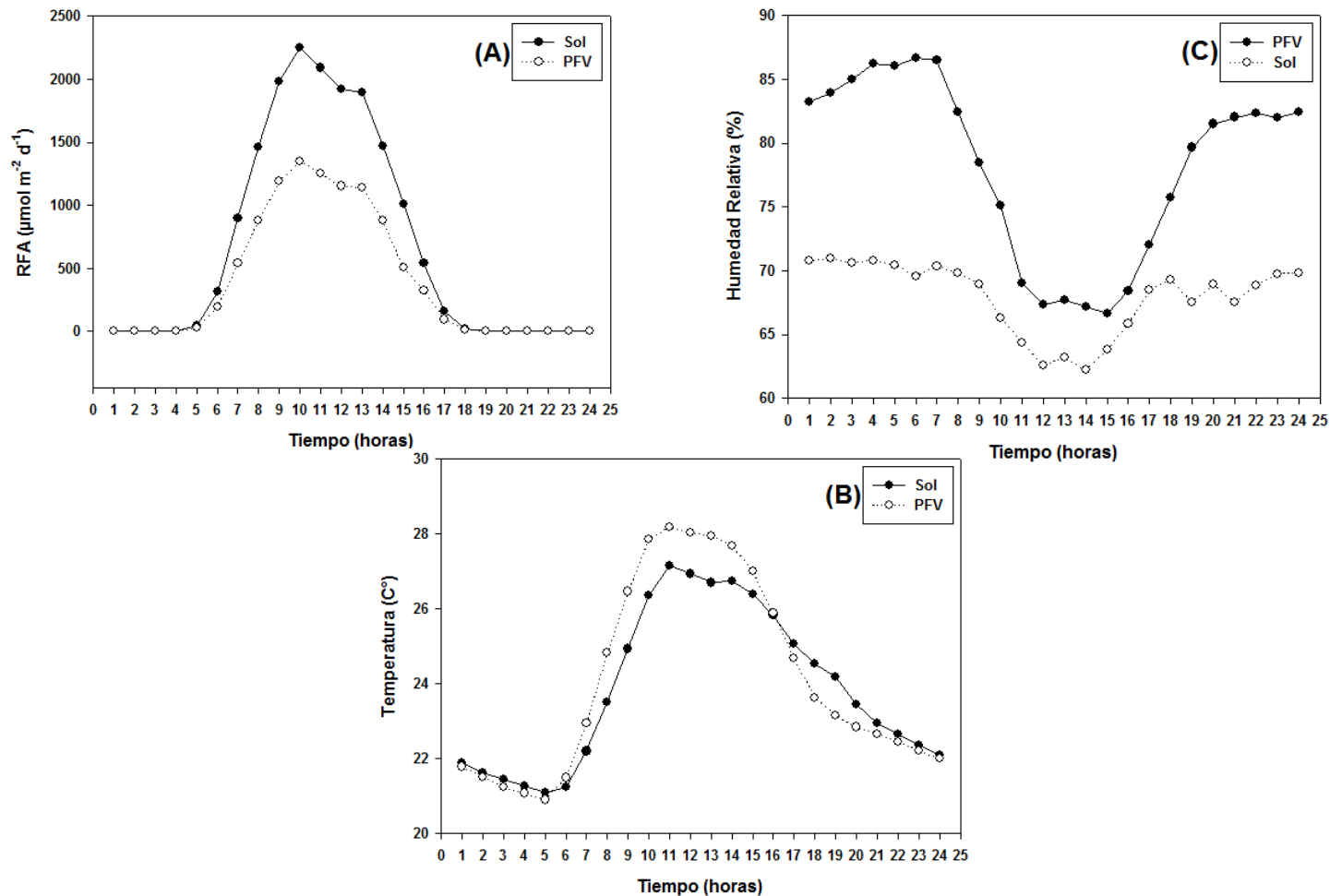
El monitoreo y el registro de la RFA es crucial y determinante cuando se compara el desempeño fisiológico y el crecimiento de las plantas, sometidas a la plena exposición solar y a la sombra que provocan los PFVs (Dupraz *et al.*, 2011; Beck *et al.*, 2012). Se ha sugerido que los efectos de la disponibilidad de la luz -RFA- sobre los procesos fisiológicos, el crecimiento y la productividad de las plantas en estudios similares es muy variable y depende del material utilizado para la construcción de los paneles, la infraestructura y el esquema del diseño de las instalaciones utilizadas en los sistemas agro-fotovoltaicos (Colantoni *et al.*, 2018; Moretti & Marucci, 2019). En el experimento realizado en este trabajo, la PAR disponible para las plantas

cultivadas bajo los PFV, redujo la actividad fotosintética, lo que se reflejó en el crecimiento y la productividad de las mismas.

El promedio de la T°C, que experimentaron las plantas durante la ejecución del experimento, debajo de los PFV y a plena exposición solar, fue de 24,05°C y 23,84°C, respectivamente (Fig. 4-B). La temperatura del aire promedio registrada se presentó en un rango de 21°C y 28°C. Finalmente, la HR diaria promedio experimentada por las plantas, a pleno sol y debajo de los PFV, durante el período experimental, fue de 67,9% y 78,2%, respectivamente (Fig. 4-C). Aunque la HR fue mayor bajo los paneles, se evidenció una disminución por debajo del 70%, en el lapso comprendido entre las 11:00 y las 15:00 horas. en ambas condiciones de crecimiento (Fig. 4-C). Lo anterior es coherente y varía inversamente con la temperatura, que se registró como la más alta a esas horas (Fig. 4-B) (Huertas, 2008). No obstante, la temperatura no es el único factor que disminuye la humedad relativa, también la velocidad del viento. Ese factor, no registrado en este trabajo, pudo provocar una disminución de la HR, a pesar de que la temperatura fue mayor bajo los PFV, en esa franja horaria, la humedad relativa no disminuyó tanto a pleno sol. En este sentido, posiblemente, el diseño y la infraestructura de los PFV utilizados, disminuyeron la velocidad del viento, lo que causó que la disminución de la HR fuese mayor como ha sido sugerido por varios autores (Ilić *et al.*, 2017; Mekhilef *et al.*, 2012).

Figura 4

Parámetros microclimáticos.



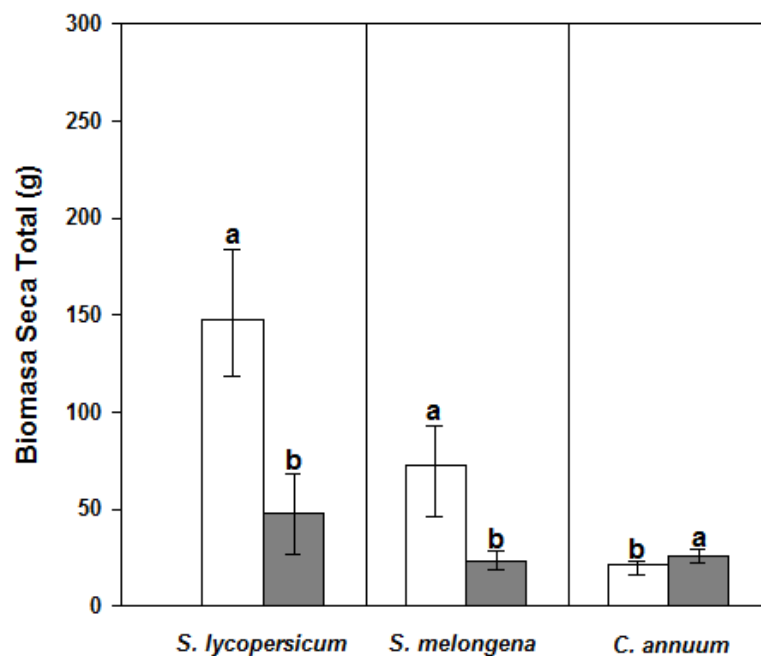
Nota. Radiación fotosintéticamente activa (RFA), temperatura ambiente y humedad relativa en plantas de *S. lycopersicum* var. Cerasiforme, *S. melongena* var. Larga, *C. annuum* var. Wonder cultivadas a plena exposición solar y el PFVs. Los valores corresponden al promedio de los registros hechos desde el 03/03/2019 hasta el 03/06/2019.

4.2 Acumulación de Biomasa en las Plantas

Las plantas de tomate cherry y berenjena cultivadas a plena exposición solar, presentaron una BST significativamente mayor que las plantas cultivadas bajo el PFVs (Fig. 2). El PFVs redujo la BST en un 67,7% en las plantas de tomate y en un 67,9% en las plantas de berenjena al compararlas con las plantas cultivadas a plena exposición solar (Fig. 5). En contraste, las plantas de pimentón, cultivadas bajo el PFVs, incrementaron su BST en un 19,1% al compararlas con las plantas cultivadas a plena exposición solar (Figura 5).

Figura 5

Biomasa seca total.



Nota. Biomasa seca total en plantas de *S. lycopersicum* var. Cerasiforme, *S. melongena* var. Larga, *C. annuum* var. Wonder establecidas en plena exposición solar (Blanco) y el PFVs (Gris oscuro). Barras con distinta letra son diferentes estadísticamente según la prueba de Mann-Whitney ($P < 0,05$).

Sunaryanti *et al.*, (2018), encontraron que la baja intensidad de luz disminuye significativamente la tasa de asimilación de dióxido de carbono (CO₂), afectando la tasa de crecimiento y la acumulación de biomasa de las plantas de tomate. Además, Chavan *et al.*, (2020) demostraron que las plantas de berenjena que crecen bajo la sombra provocada por vidrios de invernadero, presentan una reducción en la biomasa de 17% al compararlas con plantas que se desarrollan expuestas al sol. Por el contrario, en las plantas de pimentón, se ha encontrado que la condición de sombreado moderado de entre 30% y 50%, produce efectos positivos en la adquisición de biomasa y rendimiento en rasgos vegetativos y productivos (Masabni *et al.*, 2016; Díaz-Perez, 2014; Zhu, *et al.*, 2012).

La disminución en la acumulación de BST observada en plantas de tomate y berenjena, cultivadas bajo los PFV, se puede asociar a la baja disponibilidad de la luz. Bajo esas condiciones las plantas, probablemente, redujeron la ganancia de CO₂ debido a las limitaciones a la difusión de ese gas a través de las hojas y las limitaciones bioquímicas de la maquinaria enzimática del ciclo de Calvin. Usualmente, la actividad fotosintética se reduce por la disminución de la oferta de RFA incidente sobre el dosel foliar (Sharma *et al.*, 2020), afectando la producción de fotoasimilados, y finalmente, la acumulación de biomasa a nivel de planta entera. No obstante, para el caso de las plantas de pimentón, el PFVs, posiblemente, no produjo alteraciones en la actividad fotosintética y el balance de carbono de las plantas en nivel de planta entera.

4.3 Rasgos de Crecimiento en las Plantas

4.3.1 Asignación de Biomasa

Los rasgos de crecimiento BSF, BSO, BSP y BSR en las plantas de tomate cherry fueron significativamente menores en las plantas expuestas al PFVs que en las expuestas a pleno sol (Tabla 1). La reducción de la BSF, BSO, BSP y BSR fueron de 60%, 33,3%, 67,7% y 90,69%, respectivamente. En el caso de las plantas de berenjena, sólo se observó una disminución significativa en la BSP y BSR del 90,6% y 82,5%, respectivamente en las plantas cultivadas bajo el PFVs al compararlas con las cultivadas a plena exposición solar (Tabla 1). Entre las plantas de pimentón cultivadas bajo los PFV y las cultivadas a plena exposición solar no se presentaron diferencias significativas en los rasgos de crecimiento.

Tabla 1

Rasgos de crecimiento.

Especies	Tratamiento	BSF (g)	BSO (g)	BSP (g)	BSR (g)
Tomate	Sol	12,50 a	22,50 a	65,00 a	40,83 a
	PFVs	5,00 b	15,00 b	21,00 b	3,80 b
Berenjena	Sol	20,00 a	7,50 a	23,00 a	19,17 a
	PFVs	10,00 a	5,00 a	2,35 b	3,35 b
Pimentón	Sol	7,50 a	5,00 a	2,15 a	5,00 a
	PFVs	10,00 a	5,00 a	4,20 a	5,00 a

Nota. Rasgos de crecimiento en plantas de *S. lycopersicum* var. Cerasiforme, *S. melongena* var. Larga, *C. annuum* var. Wonder establecidas a plena exposición solar y el PFVs. Las diferencias significativas en las medianas de los resultados en una misma columna, se representan mediante letras diferentes, donde (a) es significativamente mayor a (b). ($P < 0,05$, Mann-Whitney).

En general, se evidenció que las plantas de tomate y berenjena tienen un mejor desarrollo a la plena exposición solar que las establecidas bajo el PFVs, en gran parte, debido al aumento de la actividad fotosintética, que conduce a una mayor acumulación de BST, como consecuencia de una eficiente fijación y asimilación del carbono atmosférico (Haque *et al.*, 2015).

Otros estudios han demostrado resultados similares, al respecto Sunaryanti *et al.*, (2018) hallaron que las plantas de tomate sombreadas por una red negra al 50%, presentan una reducción en su tasa de crecimiento. Igualmente Chavan *et al.*, (2020) encontraron que una disminución de la disponibilidad de luz solar del 43%, provocada por vidrios de invernadero en las plantas de berenjena, disminuye su capacidad fotosintética, provocando una reducción en el consumo de agua y nutrientes afectando la acumulación de biomasa. Por otro lado en el pimentón, aunque no se registraron diferencias significativas en las plantas bajo los PFV con respecto a las expuestas a plena exposición solar, hubo una leve tendencia a acumular más biomasa, acorde a lo que encontraron Zhu *et al.*, (2012), donde la condición de sombreado del 30% incrementó la adquisición de biomasa total en un 49.9% aproximadamente (Masabni *et al.*, 2016).

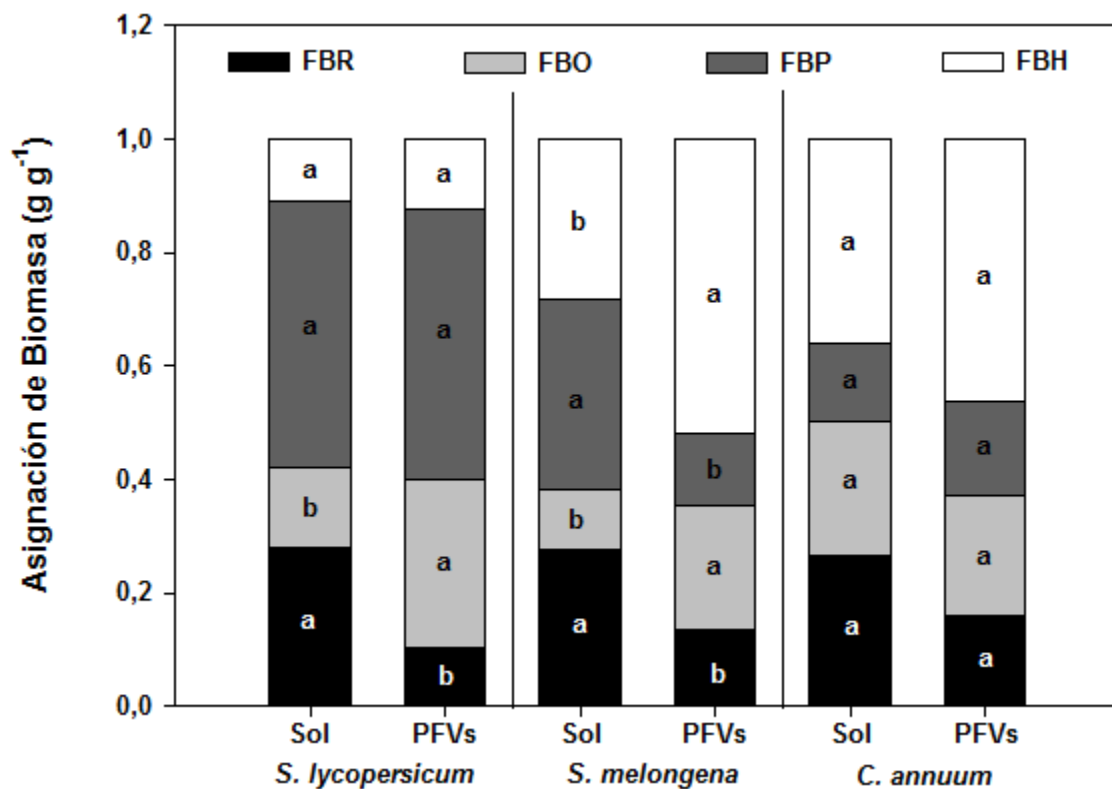
4.3.2 Fracciones de Biomasa

Las plantas de berenjena y tomate cherry, cultivadas a plena exposición solar en contraste con las cultivadas bajo el PFVs, redujeron su FBH en un 45,15% y en un 1,27%, respectivamente. Se evidenció una disminución de la FBR en un 62,7% y en un 51% en las plantas de tomate y berenjena, respectivamente, cultivadas bajo el PFVs al compararlas con las cultivadas a plena exposición solar. La FBO se redujo en las plantas expuestas a plena

exposición solar en un 51,5% en las plantas de tomate y en 51,4% en las plantas de berenjena. Adicionalmente, el PFVs disminuyó la FBP en las plantas de berenjena en un 62% al compararlas con las expuestas a la plena exposición solar (Figura 6).

Al contrastar los resultados con los obtenidos por otros autores, se pudo evidenciar que las plantas de tomate y de berenjena cumplen con las predicciones del “equilibrio funcional” y responden a la variación en la disponibilidad de recursos, mediante la partición de la biomasa entre varios órganos de la planta para optimizar la captura de nutrientes, luz, agua y CO₂ de manera que se maximice la tasa de crecimiento de la planta (Weiner, 2004; McConnaughey & Coleman, 1999). En este caso, por ejemplo, dos de las tres especies expuestas al PFVs, i.e. el tomate y la berenjena, asignaron más recursos para el crecimiento y la acumulación de biomasa de la FMH y FMO (Fig. 6). Evidentemente, la destinación de fotoasimilados privilegió la construcción de tejido foliar, de las ramas plagiotrópicas y la elongación del tallo, en asocio con la síntesis de pigmentos fotosintéticos, para la captura de luz en lugar de aumentar la producción de biomasa de la raíz para la absorción de nutrientes y agua (Correa, 2019; Bloom, Chapin & Mooney, 1985) al contrario, en las plantas de tomate y berenjena expuestas a condiciones de luz solar directa, la asignación de biomasa a la raíz fue significativamente mayor.

Moles *et al.*, (2009) mencionan que el crecimiento longitudinal en una planta puede depender de muchos factores y no solamente de la disponibilidad de luz, esto se confirma por el hecho de que la asignación de fotoasimilados a la FBR fue significativamente mayor en las plantas de las tres especies expuestas a plena exposición solar, lo que sugiere una mayor tasa de adquisición de agua y de nutrientes.

Figura 6*Asignación de biomasa.*

Nota. Biomasa [fracción de masa de hoja (FBH), fracción de biomasa de raíz (FBR), fracción de biomasa de rama ortotrópica (FBO) y fracción de biomasa de ramificación plagiotrópica (FBP)] en plantas de *S. lycopersicum* var. Cerasiforme, *S. melongena* var. Larga, *C. annuum* var. Wonder establecidas a plena exposición solar y el PFVs. La presencia de diferencias significativas en las medias de los resultados se representan mediante letras diferentes, donde (a) es significativamente mayor a (b). ($P < 0,05$, T test).

4.3.3 Razones Alométricas

Las razones alométricas BSF/BSR y BSO/BSR se redujeron en las plantas que crecieron expuestas a plena exposición solar, así: tomate 69% y 80% y berenjena 77,7% y 78,9%, respectivamente, con respecto a las que crecieron bajo el PFVs. La BSP/BSR disminuyó un

71,1% en las plantas de tomate a plena exposición solar, en tanto que la BSR/RPA decreció en tomate un 34,2% y en berenjena un 64% con relación a las que crecieron bajo el PFVs (Tabla 2).

Tabla 2

Razones alométricas.

Especies	Tratamiento	BSF/BSR	BSO/BSR	BSP/BSR	BSR/PA
Tomate	Sol	0,31 b	0,60 b	1,62 b	0,76 a
	PFVs	1,00 a	3,00 a	5,61 a	0,50 b
Berenjena	Sol	1,00 b	0,37 b	1,00 a	0,50 a
	PFVs	4,50 a	1,75 a	1,17 a	0,18 b
Pimentón	Sol	1,66 a	1,00 a	0,50 a	0,38 a
	PFVs	2,50 a	1,15 a	1,27 a	0,29 a

Nota. Razones alométricas en plantas de *S. lycopersicum* var. Cerasiforme, *S. melongena* var. Larga y *C. annuum* var. Wonder establecidas a plena exposición solar y el PFVs. Las diferencias significativas en las medianas de los resultados se representan mediante letras diferentes, donde (a) es significativamente mayor a (b). ($P < 0,05$, Mann-Whitney).

Los resultados obtenidos en este trabajo corroboran que las plantas de tomate cherry y de berenjena bajo los PFV, no tuvieron una distribución eficiente de la biomasa hacia la raíz con respecto a las hojas y el tallo, ya que priorizaron significativamente la construcción de la parte aérea como una respuesta a las condiciones de baja disponibilidad de luz, enfocándose en la captura de la luz para la fotosíntesis antes que en la adquisición de recursos del sustrato. Resultados similares fueron reportados por Wang *et al.*, (2020), en plantas de tomate, que

crecieron a una baja intensidad de la luz, situación que limitó la fotosíntesis, generando insuficiencia en la cantidad de fotoasimilados que cubriera la demanda de formación de botones, por lo que las plantas aumentan su parte aérea, aumentando así la fotosíntesis para satisfacer la demanda energética. En contraste, se observó que en las plantas de las tres especies establecidas a plena exposición solar, la distribución de biomasa hacia la raíz fue mayor, lo que indica que la fotosíntesis no era una prioridad, por lo que se estima que invirtieron más en el sistema radical que las plantas sombreadas (Flores *et al.*, 2002).

4.4 Rasgos Morfológicos en las Plantas

En las plantas de tomate que crecieron a plena exposición solar la altura se redujo un 22,96% con respecto a las plantas que crecieron a la sombra de los PFV (Tabla 3). En las plantas de berenjena establecidas bajo el PFVs, la altura se redujo significativamente en un 25% al compararse con las plantas expuestas a plena exposición solar (Tabla 3). En las plantas de pimentón, se observó que la altura se incrementó significativamente en un 34,4% en las que crecieron bajo el PFVs al compararlas con las establecidas a plena exposición solar (Tabla 3).

Por otra parte, el número de hojas (NH.), en la plantas bajo sombra de berenjena se redujo 50,5% (Tabla 3) sin embargo, ésta disminución en lámina foliar no marcó diferencia en los valores de peso seco foliar (Tabla 1) aunque las hojas tuvieron un mayor porcentaje de asignación de biomasa (Figura 3). En cuanto al NRT, solo las plantas de tomate bajo el PFVs evidenciaron una disminución significativa de un 78,2%. En berenjena, la sombra produjo una reducción de LRS de 55,1%, finalmente en pimentón en condición de exposición solar directa decreció su LRT en un 83,2% (Tabla 3).

El diámetro del tallo (DT.) se redujo en las plantas de tomate (52,8%) y berenjena (48,6%) en el tratamiento de sombreado (Tabla 3), esto debido posiblemente a que la corriente de transpiración depende de la cantidad total de agua transpirada diariamente, que aumenta en condiciones de luz directa, y a su vez aumenta también el flujo de nutrientes y agua desde la raíz hacia las hojas, con efecto sobre crecimiento radial simultáneo del tallo (De Swaef & Steppe, 2010). Las diferencias significativas en la longitud de raíz (LR) solo se encontraron en plantas de berenjena, que disminuyó bajo el PFVs (Tabla 3), donde hubo también una menor asignación de biomasa (Figura 3).

Las plantas de tomate cherry presentaron cambios considerados como característicos en la morfología debido a la exposición a la sombra. Según Sunaryanti *et al.*, (2018), el incremento de la altura en las plantas expuestas a la baja disponibilidad de luz es una respuesta de evitación, que puede promover una mayor eficiencia fotosintética, conforme a lo que encontraron Kittas *et al.*, (2012), donde la altura final de las plantas cultivadas sin sombra fue un 25% más baja que la de las cultivadas bajo sombra. El DT y el BSO (Tabla 1, Tabla 3), no se incrementaron por lo que se generó solamente una fuerte aceleración de crecimiento longitudinal, debido a su necesidad fotosintética (Smith, Samson & Fork, 1993).

Por otro lado, la berenjena que creció expuesta a luz directa, desarrolló características más complejas en su arquitectura que la establecida a la sombra, no solo en su altura total sino también en la LRS, similar a lo reportado por Usun (2006). Brodribb (2009) señala que las plantas en condiciones abióticas favorables generalmente se benefician de la inversión en un sistema hidráulico altamente conductor y ramificado, hasta el punto en que la fotosíntesis está limitada por factores no relacionados con el suministro de agua; por ejemplo la luz, el frío o los nutrientes. En este caso, al no tener la luz como limitante, y contar con un estado hídrico óptimo,

el control del desarrollo de los sistemas fotosintéticos e hidráulicos en las plantas expuestas al sol, aseguró una asignación de recursos equilibrada entre estos procesos.

Por el contrario en las plantas de pimentón, Masabni *et al.*, (2016) indican que las plantas que crecieron con 50% de sombra presentaron un aumento en su altura de 23,15% aproximadamente con respecto a las plantas que crecieron a plena exposición solar, y aunque la reducción de luz por los PFV les resultó favorable, aun así las plantas cultivadas a la sombra suelen tener sistemas más complejos de captación de luz por unidad para capturar la mayor cantidad de luz posible, por ende mayor LRT.

Tabla 3

Rasgos morfológicos

Especies	Tratamiento	AP	NH	NRS	NRT	DT	LRS	LRT	LR
Tomate	Sol	156,00 b	452,00 a	8,00 a	39,00 a	1,80 a	97,16 a	21,00 a	56,25 a
	PFVs	202,50 a	293,50 a	11,00 a	8,50 b	0,85 b	56,15 a	21,23 a	43,50 a
Berenjena	Sol	57,00 a	294,00 a	9,00 a	10,50 a	1,85 a	36,57 a	15,81 a	32,00 a
	PFVs	42,75 b	145,50 b	7,00 a	7,50 a	0,95 b	16,42 b	5,91 a	23,50 b
Pimentón	Sol	21,00 b	78,00 a	3,50 a	1,00 a	1,45 a	11,13 a	1,25 b	35,50 a
	PFVs	32,00 a	42,00 a	2,00 a	3,50 a	1,50 a	8,50 a	7,44 a	26,00 a

Nota. Rasgos morfológicos [altura (AP), número de hojas (NH), número de ramas plagiotrópicas secundarias (NRS), número de ramas plagiotrópicas terciarias (NRT.), diámetro de tallo (DT), longitud de ramas plagiotrópicas secundarias (LRS), longitud de ramas plagiotrópicas terciarias (LRT), longitud de raíz (LR)] en plantas de *S. lycopersicum* var. Cerasiforme, *S. melongena* var. Larga y *C. annuum* var. Wonder sometidas a plena exposición solar y el PFVs. Las diferencias significativas en las medianas de los resultados se representan mediante letras diferentes, donde (a) es significativamente mayor a (b). ($P < 0,05$, Mann-Whitney).

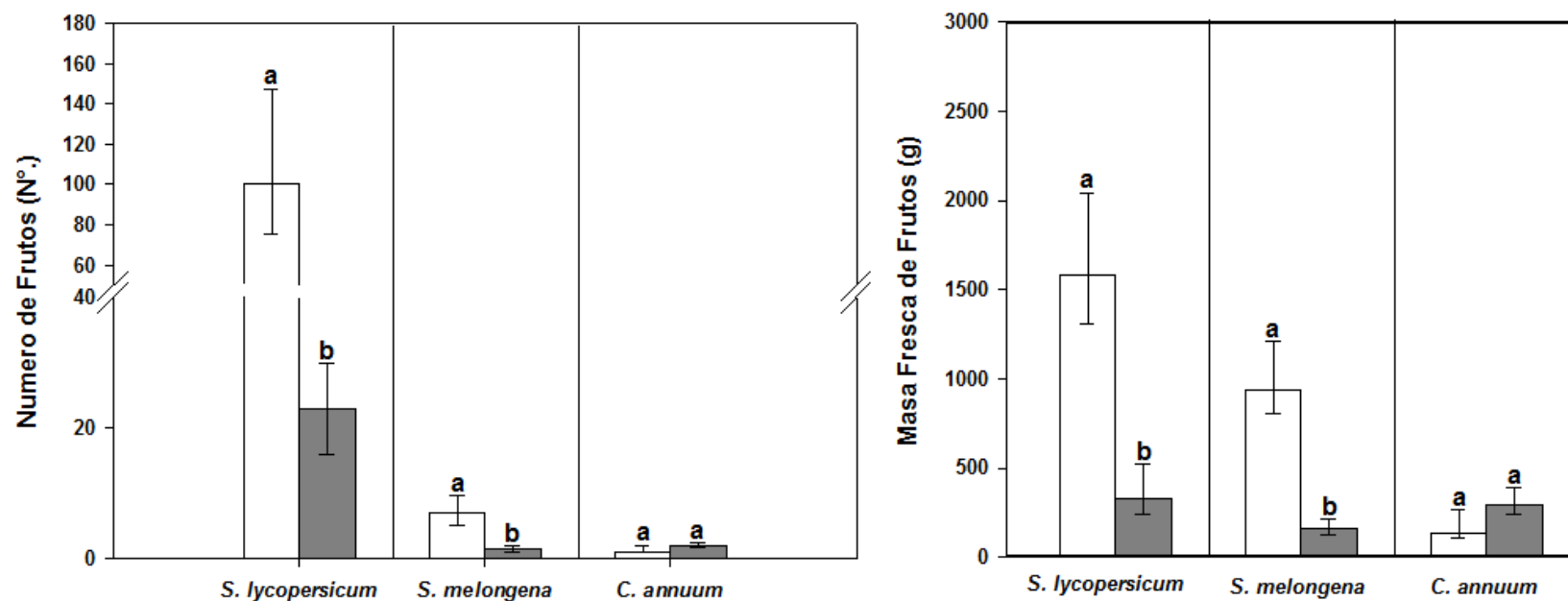
4.5 Masa Fresca y Número de Frutos

La masa fresca y número de frutos se redujo significativamente en las plantas de tomate (79,4% y 77%) y berenjena (83,2% y 78,6%) que crecieron bajo el PFVs (Figura 7). El rendimiento de frutos fue mayor en las plantas expuestas a plena exposición solar, no obstante, la estructura y el funcionamiento de las plantas se pueda alterar en esas condiciones de crecimiento (Mathur *et al.*, 2018). El cultivo de tomate, generalmente en Colombia se hace a libre exposición entre 0 y 2.000 msnm, principalmente en las regiones de “clima medio” entre 1.000 y 2.000 msnm, donde la temperatura promedio varía entre 18 y 24 °C (Escobar & Lee, 2009).

Por otro lado, la berenjena, es una planta que se adapta muy bien a las condiciones ambientales de los países tropicales, se desarrolla mejor al aire libre en regiones secas y de clima caliente de hasta 1000 msnm y con temperatura durante el día que oscile entre 25 y 30°C (Pinto *et al.*, 2015). En este caso, la altura de la ciudad de Bucaramanga es de 959 msnm, y la temperatura oscilo entre los 21-28 °C (Figura 4) estando en el rango de altura y temperatura ideal para las dos especies que presentaron los valores significativos en producción, cumpliendo con los requerimientos ambientales necesarios para una buena producción de frutos.

Finalmente, no se observaron diferencias significativas en la masa fresca y el número de frutos entre las plantas de pimentón expuestas a plena exposición solar y las que crecieron bajo el PFVs. En las plantas aclimatadas bajo el PFVs, el número y la masa fresca aumentó en un 47,35% y 40,9%, respectivamente, en relación a las plantas establecidas a plena exposición solar. Resultados similares fueron mencionados por Zhu *et al.*, (2012) donde las plantas de pimentón que se cultivaron con 30% de sombra obtuvieron un mayor rendimiento en producción de frutos con respecto a las expuestas a plena exposición solar.

En este trabajo se verificó que, a plena exposición solar, las plantas de tomate cherry produjeron en promedio 109 frutos/planta. En otros estudios, el cultivo de tomate cherry a campo abierto las plantas de tomate cherry produjeron 96,1 frutos/planta (Ceballos & Vallejo, 2012). En el caso de las plantas de berenjena, cultivadas a pleno sol, produjeron en promedio 7,5 frutos/planta, en contraste con lo reportado por Arguedas y Monje, (2017) que fue de 12 a 15 frutos/planta, bajo condiciones de invernadero. Finalmente tanto en las plantas de pimentón expuestas a plena exposición solar como en las cultivadas bajo los PFV, obtuvieron una media de 1,7 y 1,8 frutos/planta, respectivamente. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Jiménez *et al.*, (2018) encontraron que en plantas de pimentón a campo abierto el promedio fue de 8 frutos/planta.

Figura 7*Masa fresca y número de frutos*

Nota. Masa fresca y número de frutos maduros en plantas de *S. lycopersicum* var. Cerasiforme, *S. melongena* var. Larga, *C. annuum* var. Wonder establecidas a plena exposición solar (Columnas blancas) y el PFVs (Columnas grises). Las diferencias significativas en las medianas de los resultados se representan mediante letras diferentes, donde (a) es significativamente mayor a (b). ($P < 0,05$, Mann-Whitney).

4.6 Variables Fisiológicas

4.6.1 Potencial Hídrico Foliar (Ψ_w)

Los valores de potencial hídrico no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Fig. 8-A). Estos resultados indicaron que las plantas de tomate cherry, berenjena y pimentón bajo los PFV y a plena exposición solar mantuvieron un status hídrico similar posiblemente porque las condiciones hídricas se conservaron homogéneas para que el estrés hídrico no fuese un factor determinante. Sin embargo, al comparar las mediciones de Ψ_w tomadas en las plantas del mismo tratamiento en los periodos de la mañana y de la tarde (Fig. 8-B), se observó que el Ψ_w en las plantas de tomate, berenjena y pimentón que crecieron a plena exposición solar, se redujo significativamente en la jornada de la tarde. De igual manera, en las plantas de tomate y berenjena bajo el PFVs el Ψ_w se redujo significativamente en la tarde, el pimentón también presentó una tendencia de reducción aunque no fue significativa.

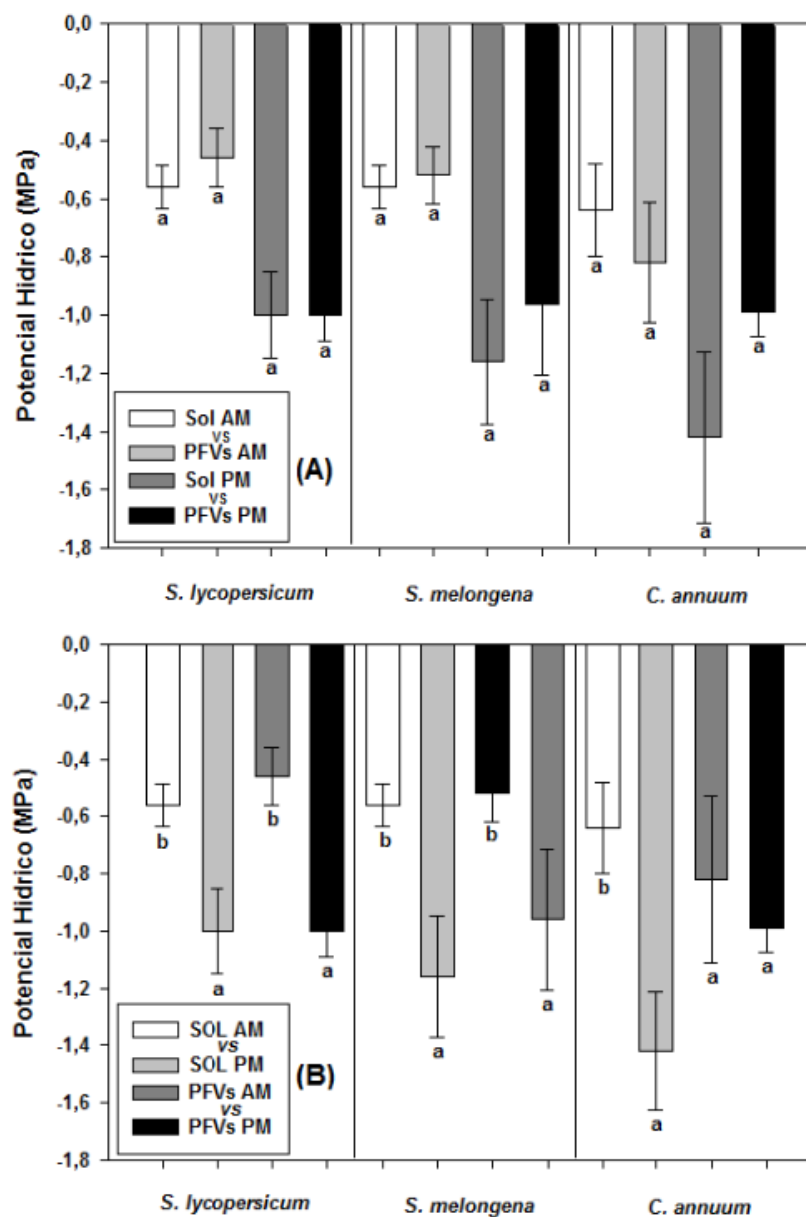
Esto indica que en las horas de la tarde, el Ψ_w disminuyó debido a que el estado hídrico de la planta está relacionado con el proceso de la transpiración, por el cual la planta entrega agua a la atmósfera a través de los estomas ubicados en la superficie foliar, vía estomática, y los tallos a través de lenticelas, la cual aumenta con el incremento de la intensidad de luz en el transcurso del día, además es un proceso clave en la formación de biomasa, debido a la función que cumple el agua, en facilitar el movimiento de los nutrientes esenciales presentes en la solución del suelo (Melgarejo *et al.*, 2010).

Al respecto Lorenzo *et al.*, (2006), señalan que la alta radiación y evaporación, induce a altos valores de transpiración en las plantas de tomate, que combinado con la conductividad

hidráulica del sistema radical aumenta el gradiente de Ψ_w entre la planta y la atmósfera. Igualmente, Guichard *et al.*, (2005) indican que cualquiera que sea el déficit de presión de vapor y la carga de frutos de las plantas, en éste caso el tomate, los Ψ_w del tallo y las hojas disminuyen durante el día, enfatizando que los Ψ_w de la hoja y el tallo disminuyen significativamente con un déficit de presión de vapor alto, alcanzando valores de -1.1 MPa. Los valores de Ψ_w en las plantas de tomate no superaron ese valor, lo que indica un estado hídrico óptimo.

Colak *et al.*, (2017), señalan que la berenjena tiene mayor resistencia a la sequía y mejor control estomático de la transpiración que otras especies hortícolas; sin embargo, estos autores corroboraron que el Ψ_w es un indicador del nivel de estrés en las plantas, al establecer que el Ψ_w de las hojas alcanzó plantas estresadas valores de -1.50 MPa sometidas a déficit hídrico. En este trabajo, las plantas de berenjena no registraron durante el tiempo de evaluación valores superiores a los -1,2 MPa (Fig. 8-A; Fig.8-B).

Gálvez *et al.*, (2020) encontraron que en pimentón, las plantas cultivadas bajo la sombra de redes rojas mostraron valores de Ψ_w promedio de -0,53 MPa, que corresponde a un aumento de su Ψ_w del 28% aproximadamente, con respecto a las que crecieron a plena exposición solar, las cuales registraron un Ψ_w de -0,74 MPa en promedio, cifra menor a las medidas este trabajo, ya que las plantas de pimentón en la condición de exposición solar directa en la jornada de la tarde, alcanzaron los valores de -1,4 MPa. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en esa jornada con respecto a las plantas sombreadas por PFVs, lo que indica que en ambas condiciones el estado hídrico fue similar (Fig. 5-A; Fig.5-B).

Figura 8*Potencial hídrico foliar.*

Nota. Potencial hídrico foliar (Ψ_w) en plantas de *S. lycopersicum* var. Cerasiforme, *S. melongena* var. Larga, *C. annuum* var. Wonder sometidas a plena exposición solar y el PFVs. La comparación se realiza entre los dos tratamientos en la misma franja horaria (A) y entre ambos periodos del día en la misma condición de crecimiento (B). Las diferencias significativas en las medianas de los resultados se representan mediante letras diferentes, donde (a) es significativamente mayor a (b). ($P < 0,05$, Mann-Whitney).

4.6.2 Eficiencia Cuántica del Fotosistema II (F_v/F_m)

La eficiencia cuántica del fotosistema II (F_v/F_m) no presentó diferencias significativas entre las plantas de tomate cherry y las plantas de berenjena, expuestas a pleno sol y bajo el PFVs, durante la mañana (Fig. 9-A). En contraste, las plantas de pimentón expuestas a pleno sol presentaron una reducción significativa de la F_v/F_m al compararlas con las plantas que permanecían bajo el PFVs (Fig. 9-A). La evaluación de la F_v/F_m , durante el periodo de la tarde, presentó reducciones significativas en la F_v/F_m en las plantas de las tres especies expuestas a plena exposición solar al compararlas con las cultivadas bajo el PFVs (Fig. 9-A).

Al analizar los datos obtenidos en las plantas expuestas a pleno sol, la F_v/F_m en tomate y berenjena fue significativamente mayor durante la mañana (Fig. 9-B). De igual manera, al observar los datos obtenidos en las plantas bajo el PFVs, la F_v/F_m en tomate y pimentón fue significativamente mayor durante la mañana (Fig. 9-B).

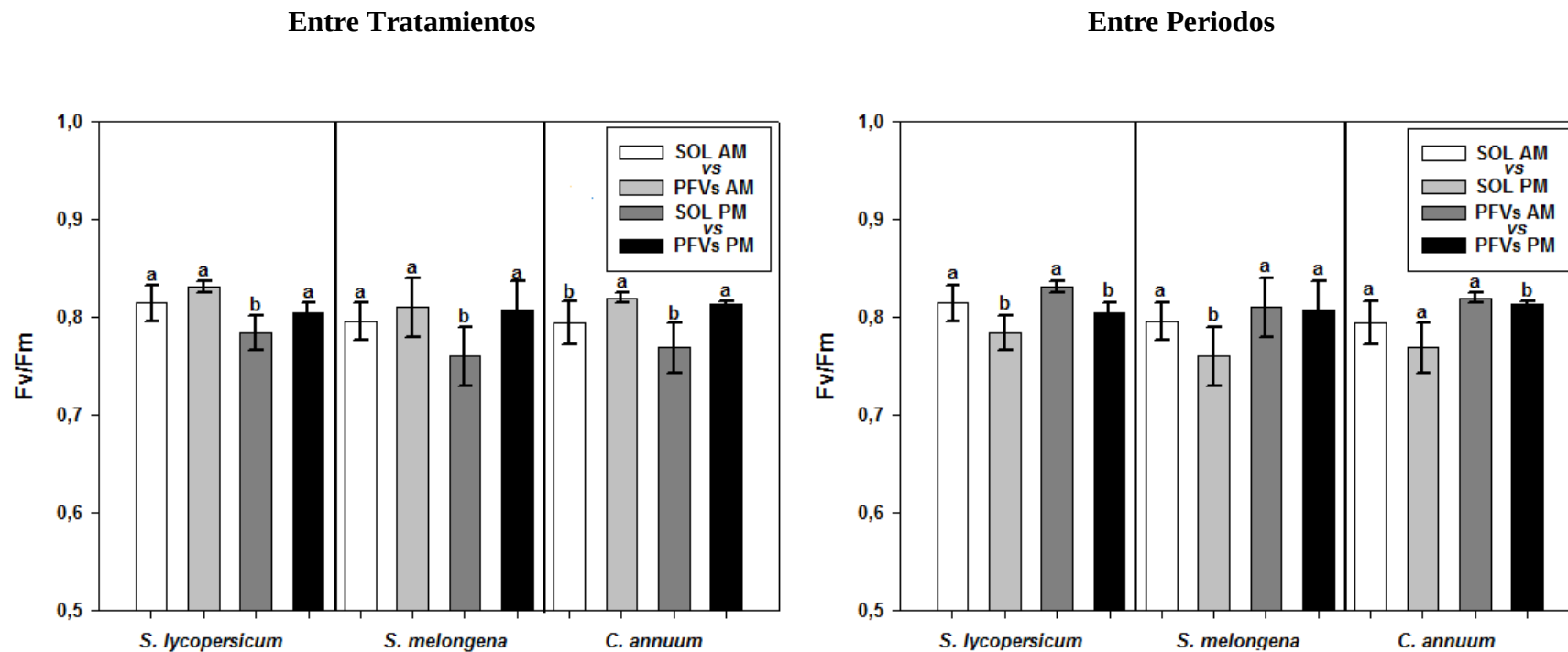
Este parámetro cuantifica el rendimiento de la fluorescencia de la clorofila y permite obtener información sobre la eficiencia fotoquímica y la disipación térmica de la energía absorbida (Maxwell & Johnson, 2000). Cuando los valores disminuyen, quiere decir que los fotosistemas están pasando por condiciones de estrés abiótico o biótico (Ibaraki & Murakami, 2006) ya que se modifican las proporciones del reparto de energía entre estos procesos incrementándose la fluorescencia. Sin embargo, aunque los valores fueran significativamente diferentes entre tratamientos o entre períodos del mismo tratamiento, correspondían a plantas no estresadas, debido a que se encontraban en el rango ideal de 0,75 y 0,85 (Rodríguez-Torressi *et al.*, 2014).

Pérez-Molina *et al.*, (2020) y Lu *et al.*, (2017) encontraron una reducción en los valores de F_v/F_m en plantas de tomate sometidas a alta intensidad de luz y temperatura, afectando los niveles de fluorescencia de la clorofila, condición que corresponde a una acumulación de estrés a lo largo del tiempo, responsable de una disminución de la eficiencia fotosintética debido a que la entrada de fotones va más allá de la demanda de fotosíntesis. Esta disminución en los valores de F_v/F_m al estar expuestas a un estrés lumínico débil se ha encontrado también en plantas de maíz y pepino (He *et al.*, 2020).

Lo anterior corrobora la tendencia en la disminución de los valores de F_v/F_m en las plantas de tomate cherry, berenjena y pimentón expuestas a pleno sol tanto en la mañana como en la tarde con respecto a las plantas bajo el PFVs. Igualmente fue evidente que la F_v/F_m se redujo en la tarde dentro del mismo tratamiento.

Figura 9

Eficiencia cuantica del fotosistema II (Fv/Fm)



Nota. Eficiencia cuántica del fotosistema II (Fv/Fm) tomada en los periodos del día (AM, PM) a plantas de *S. lycopersicum* var. Cerasiforme, *S. melongena* var. Larga, *C. annuum* var. Wonder que crecieron a plena exposición solar y el PFVs. La presencia de diferencias significativas en las medias de los resultados se representan mediante letras diferentes, donde (a) es significativamente mayor a (b). ($P < 0,05$, T test).

4.7 Fenología de las Plantas

4.7.1 Acumulación de Grados Día (°C-día)

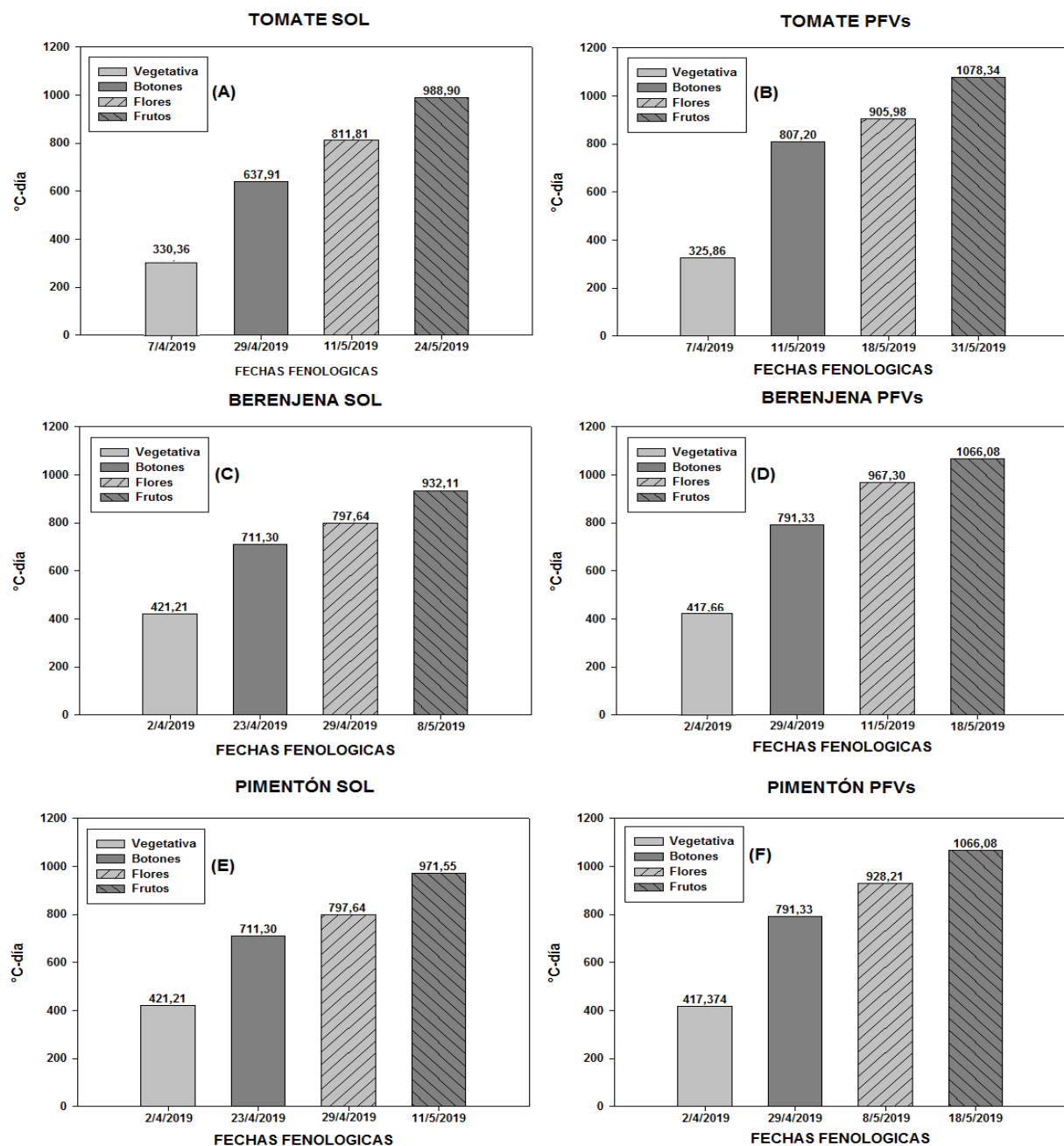
Se observó que las etapas fenológicas reproductivas de las tres especies que crecieron bajo los PFV tuvieron un retraso con respecto a las que crecieron en condición de luz directa. En el tomate, la producción de botones florales se retrasó 13 días, la de flores 8 días y la de frutos 8 días (Fig. 10-B). En la berenjena, la producción de botones florales se retrasó 7 días, la de flores 13 días y la de frutos 11 días (Fig. 10-D). Finalmente en el pimentón la producción de botones florales se retrasó 7 días, de flores 10 días y la de frutos 8 días (Fig 10-C). En este trabajo la cantidad de °C-día para que las plantas empezaran la producción de frutos a plena exposición solar y bajo el PFVs, para el tomate cherry fue de 998,9 °C-día y 1078,34 °C-día (Fig 10-A; Fig. 10-B), para las plantas de berenjena 932,11 °C-día y 1066,08 °C-día (Fig. 10-C; Fig 10-D) y finalmente para las plantas de pimentón 971,55 °C-día y 1066,08 °C-día, respectivamente (Fig. 10-E;10-F).

Igualmente en las plantas de sombra de las tres especies se vio una mayor acumulación de temperatura total para culminar cada una de sus etapas fenológicas reproductivas. La tasa de desarrollo de los cultivos suele ser sensible a la temperatura, la luz y el fotoperiodo (Uzun, 2006) retrasando y afectando la transición del periodo vegetativo a reproductivo (Rubanga *et al.*, 2019), en este caso las tres especies que contaron con condiciones abióticas similares, mantuvieron °C-día y tiempo de desarrollo de las etapas fenológicas bastante parecido, con menos de dos semanas de diferencia entre tratamientos. O'connel *et al.*, (2015) indicaron que para un cultivo de tomate establecido en un rango de temperatura de 15 a 27 °C aproximadamente, se requirieron 1100 °C-día tanto en sistemas de ambiente controlado cómo en sistemas a cielo abierto, antes de cosechar el 50% de la fruta. En cuanto a la berenjena, Pacheco *et al.*, (2019) señalaron que para

15 variedades de berenjena, el rango de valores de °C-día para que las plantas lleguen a la etapa de fructificación va desde los 892.14 a 1,077.7 °C-día. Finalmente para pimentón Mendoza-Perez *et al.*, (2017) determinaron que las plantas necesitan en promedio para alcanzar su etapa de floración y desarrollo de frutos, un valor de de 1394 °C-día aproximadamente.

Figura 10

Acumulación de grados día.



Nota. Acumulación de grados día (°C-día) desde el 15 de marzo (siembra) hasta el 31 de mayo (fructificación) representados en diferentes estados fenológicos en plantas de *Solanum lycopersicum* var. Cerasiforme, *Solanum melongena* var. Larga y *Capsicum annuum* var. Wonder sometidas a dos tratamientos; luz solar directa y el PFVs. Las barras muestran la suma de los valores diarios de °C-día desde la siembra hasta el inicio de la fase fenológica.

5. Conclusiones

En general, las plantas de todas las especies se aclimataron a las condiciones bajo el sombrío de los PFVs, con reducciones significativas en la acumulación de BST, menor número y peso de masa fresca de frutos, con alteraciones en las etapas fenológicas, y aunque las plantas no registraron condiciones de estrés, quizá les impidió alcanzar un rendimiento óptimo. Por lo tanto, los espacios bajo los PFV pueden ser aprovechados, con el manejo adecuado, para el crecimiento y la producción de *S. lycopersicum*, *S. melongena* y *C. annuum* integrados en los sistemas de techos verdes es viable y productivo.

De manera particular, bajo las condiciones experimentales de este trabajo, se corroboró que:

1. La capacidad de aclimatación bajo el PFVs fue menor en las plantas de tomate cherry y berenjena, y contrastó con una capacidad de aclimatación mayor a plena exposición solar con un incremento en la acumulación de su BST; mientras que, en las plantas de pimentón, la aclimatación se expresó en una mayor BST, en los individuos bajo el PFVs en contraste con los expuestos a plena exposición solar.

2. Algunos rasgos morfológicos fueron especie-específicos que contribuyeron en la aclimatación bajo el PFVs. Las fracciones de biomasa y las razones alométricas mostraron mayor grado de plasticidad, tanto en plantas de tomate como en plantas de berenjena, para responder al PFVs, en contraste con lo observado en las plantas de pimentón aclimatadas en esa condición de crecimiento.

3. Los rasgos fisiológicos, Ψ_w y F_v/F_m , mostraron plasticidad diurna dependiendo del periodo de medición, mañana o tarde, evidenciando que la aclimatación fisiológica de las plantas de tomate y de berenjena a la plena exposición solar, no tuvo efectos negativos en el status

hídrico y la actividad fotoquímica foliar. En contraste, las plantas de pimentón fueron menos plásticas en los rasgos fisiológicos para su aclimatación bajo el PFVs.

4. Las plantas bajo el PFVs acumularon mayor cantidad de unidades de calor que las plantas cultivadas a pleno sol, con retrasos en las etapas fenológicas evaluadas en las tres especies.

Referencias Bibliográficas

- Agronet MinAgricultura. (2020). Recuperado de: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Aljaro, A. (1990). Técnicas de poda para hortalizas en invernadero. *IPA La Platina* N° 59.
- Arguedas-García, C., & Monge-Pérez, J. E. (2017). Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad de los frutos de dos genotipos de berenjena (*Solanum melongena* L.) cultivados en invernadero en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 66-79.
- Beck, M., Bopp, G., Goetzberger, A., Obergfell, T., Reise, C., & Schindele, S. (2012). Combining PV and food crops to agrophotovoltaic—optimization of orientation and harvest. *EUPVSEC Proceedings*, 1.
- Bloom, A. J., Chapin III, F. S., & Mooney, H. A. (1985). Resource limitation in plants-an economic analogy. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16(1), 363-392.
- Boardman, N. T. (1977). Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 28(1), 355-377.
- Brodribb, T. J. (2009). Xylem hydraulic physiology: the functional backbone of terrestrial plant productivity. *Plant Science*, 177(4), 245-251.
- Ceballos Aguirre, N., & Vallejo Cabrera, F. A. (2012). Evaluating the fruit production and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 65(2), 6593-6604.
- Chavan, S. G., Maier, C., Alagoz, Y., Filipe, J. C., Warren, C. R., Lin, H., & Tissue, D. T. (2020). Light-limited photosynthesis under energy-saving film decreases eggplant yield. *Food and Energy Security*, 9(4), e245.

- Çolak, Y. B., Yazar, A., Sesveren, S., & Colak, I. (2017). Evaluation of yield and leaf water potential (LWP) for eggplant under varying irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. *Scientia Horticulturae*, 219, 10-21.
- Colantoni, A., Monarca, D., Marucci, A., Cecchini, M., Zambon, I., Di Battista, F., & Beruto, M. (2018). Solar radiation distribution inside a greenhouse prototypal with photovoltaic mobile plant and effects on flower growth. *Sustainability*, 10(3), 855.
- Correa, J., Postma, J. A., Watt, M., & Wojciechowski, T. (2019). Soil compaction and the architectural plasticity of root systems. *Journal of Experimental Botany*, 70(21), 6019-6034.
- De Swaef, T., & Steppe, K. (2010). Linking stem diameter variations to sap flow, turgor and water potential in tomato. *Functional Plant Biology*, 37(5), 429-438.
- Díaz-Pérez, J. C. (2014). Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) crop as affected by shade level: Fruit yield, quality, and postharvest attributes, and incidence of phytophthora blight (Caused by *Phytophthora capsici* Leon.). *HortScience*, 49(7), 891-900.
- Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., & Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36(10), 2725-2732.
- Escobar, H., & Lee, R. (2009). Manual de producción de tomate bajo invernadero. Universidad Jorge Tadeo Lozano, 9.
- Flores, G. C., Román, D. F., González, G. A., Santos, A. T., & Escobar, R. V. (2002). Eficacia de uso de nitrógeno y fósforo en genotipos de trigo, triticales y maíz. *Terra Latinoamericana*, 20(4), 411-422.

- Gálvez, A., Albacete, A., del Amor, F. M., & López-Marín, J. (2020). The use of red shade nets improves growth in salinized pepper (*Capsicum annuum* L.) plants by regulating their ion homeostasis and hormone balance. *Agronomy*, 10(11), 1766.
- Galvez, J. (2005). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Current Agricultural Science and Technology*, 11(1).
- Guichard, S., Gary, C., Leonardi, C., & Bertin, N. (2005). Analysis of growth and water relations of tomato fruits in relation to air vapor pressure deficit and plant fruit load. *Journal of Plant Growth Regulation*, 24(3), 201-213.
- Haque, M. S., Kjaer, K. H., Rosenqvist, E., & Ottosen, C. O. (2015). Continuous light increases growth, daily carbon gain, antioxidants, and alters carbohydrate metabolism in a cultivated and a wild tomato species. *Frontiers in Plant Science*, 6, 522. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00522>
- He, J., Qin, L., Chong, E. L., Choong, T. W., & Lee, S. K. (2017). Plant growth and photosynthetic characteristics of *Mesembryanthemum crystallinum* grown aeroponically under different blue-and red-LEDs. *Frontiers in Plant Science*, 8, 361.
- Huertas, L. (2008). El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Hortícola*, 205, 52-54.
- Hui, S. C. M. & Chan, S. C. (2011). Integration of green roof and solar photovoltaic systems. In *Proceedings of Joint Symposium 2011: Integrated Building Design in the New Era of Sustainability*, Kowloon, Hong Kong. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/cc4/8bc31a8187823028cbe327cc81f07249096b.pdf>

- Hynes, H. P., & Howe, G. (2002). Urban horticulture in the contemporary United States: personal and community benefits. *In International Conference on Urban Horticulture* 643 (pp. 171-181).
- Ibaraki, Y., & Murakami, J. (2006). Distribution of chlorophyll fluorescence parameter Fv/Fm within individual plants under various stress conditions. In XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: *International Symposium on Advances in Environmental Control, Automation* 761 (pp. 255-260).
- Ilić, Z. S., Milenković, L., Šunić, L., Barać, S., Mastilović, J., Kevrešan, Ž., & Fallik, E. (2017). Effect of shading by coloured nets on yield and fruit quality of sweet pepper. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(1).
- Jiménez Arteaga, M. C., González Gómez, L. G., Suárez Benítez, M., Paz Martínez, I., Oliva Lahera, A., & Falcón Rodríguez, A. (2018). Respuesta agronómica del pimiento California Wonder a la aplicación de Quitomax. *Centro Agrícola*, 45(2), 40-46.
- Kittas, C., Katsoulas, N., Rigakis, V., Bartzanas, T., & Kitta, E. (2012). Effects on microclimate, crop production and quality of a tomato crop grown under shade nets. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 87(1), 7-12.
- Krizek, D. T. (2004). Influence of PAR and UVA in Determining plant sensitivity and photomorphogenic responses to UVB radiation. *Photochemistry and Photobiology*, 79(4), 307-315.
- Kuronuma, T., Watanabe, H., Ishihara, T., Kou, D., Touda, K., Ando, M., & Shindo, S. (2018). CO2 payoff of extensive green roofs with different vegetation species. *Sustainability*, 10(7), 2256.

- Lorenzo, P., Garcia, M. L., Sanchez-Guerro, M. C., Medrano, E., Caparros, I., & Giménez, M. (2006, April). Influence of mobile shading on yield, crop transpiration and water use efficiency. *In International Symposium on Greenhouse Cooling* 719 (pp. 471-478).
- Lu, T., Meng, Z., Zhang, G., Qi, M., Sun, Z., Liu, Y., & Li, T. (2017). Sub-high temperature and high light intensity induced irreversible inhibition on photosynthesis system of tomato plant (*Solanum lycopersicum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 8, 365.
- Masabni, J., Sun, Y., Niu, G., & Del Valle, P. (2016). Shade effect on growth and productivity of tomato and chili pepper. *HortTechnology*, 26(3), 344-350.
- Mathur, S., Jain, L., & Jajoo, A. (2018). Photosynthetic efficiency in sun and shade plants. *Photosynthetica*, 56(1), 354-365.
- Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of experimental botany*, 51(345), 659-668.
- McConnaughay, K. D. M., & Coleman, J. S. (1999). Biomass allocation in plants: ontogeny or optimality? A test along three resource gradients. *Ecology*, 80(8), 2581-2593.
- Medany, M. A., Hassanein, M. K., & Farag, A. A. (2008). Effect of black and white nets as alternative covers to sweet pepper production under greenhouses in Egypt. *In International Symposium on Strategies Towards Sustainability of Protected Cultivation in Mild Winter Climate* 807 (pp. 121-126).
- Mekhilef, S., Saidur, R., & Kamalisarvestani, M. (2012). Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2920-2925.

- Melgarejo, L. M., Hernández, S., Barrera, J., Solarte, M. E., Suárez, D., Pérez, L. V., & Pérez, W. (2010). *Experimentos en Fisiología Vegetal*. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia, Primera edición, 63-70.
- Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C., Ojeda-Bustamante, W., & Flores-Magdaleno, H. (2017). Estimation of leaf area index and yield of greenhouse-grown poblano pepper. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 9(1), 37-50.
- Moles, A. T., Warton, D. I., Warman, L., Swenson, N. G., Laffan, S. W., Zanne, A. E., & Leishman, M. R. (2009). Global patterns in plant height. *Journal of Ecology*, 97(5), 923-932.
- Moretti, S., & Marucci, A. (2019). A photovoltaic greenhouse with passive variation in shading by fixed horizontal pv panels. *Energies*, 12(17), 3269.
- Murray, M.S. (2008). Using degree days to time treatments for insect pests. Fact Sheet. Utah State University Extension and Utah Plant Pest Diagnostic Laboratory, *IPM* 05-08. 5 p.
- O'Connell, S., Rivard, C., Peet, M. M., Harlow, C., & Louws, F. (2012). High tunnel and field production of organic heirloom tomatoes: yield, fruit quality, disease, and microclimate. *HortScience*, 47(9), 1283-1290.
- Ohyama, K., Takagaki, M., & Kurasaka, H. (2008). Urban horticulture: its significance to environmental conservation. *Sustainability Science*, 3, 241e247.
- Pérez-Molina, J. P., Castro Lara, R., Portuguese Brenes, I., Araya Trejos, V., & Quesada Traña, A. (2020). Chlorophyll fluorescence and biomass partitioning within light and nitrogen deficiency: an example of the use of the R programming language for teaching. *Cuadernos de Investigación UNED*, 12(1), 92-105.
- Perry, K.B., T.C. Wehner & G.L. Johnson. (1986). Comparison of 14 methods to determine heat unit requirements for cucumber harvest. *HortScience* 21(3): 419-423.

- Pinto Zapata, M. J., Alvarez, C., Manuelautor, E., Mass, J., Rozo, G., & Baquero Maestre, C. (2015). Modelo tecnológico del cultivo de berenjena para la región caribe. *Corpoica*, 20-22.
- Poorter, H., & Nagel, O. (2000). The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Functional Plant Biology*, 27(12), 1191-1191.
- Razdan, M. & Mattoo, A.K. (2007). Genetic improvement of Solanaceous Crops. Vol. 2. Tomato. *Science Publishers, Enfield: USA*. 646 p.
- Rodríguez-López, N. F., Martins, S. C., Cavatte, P. C., Silva, P. E., Morais, L. E., Pereira, L. F., & DaMatta, F. M. (2014). Morphological and physiological acclimations of coffee seedlings to growth over a range of fixed or changing light supplies. *Environmental and Experimental Botany*, 102, 1-10.
- Rodríguez-Torressi. A. O., M. Yonny, M. Nazareno, C. R. Galmarini y C. A. Bouzo (2014). Eficiencia fotoquímica máxima e índice de potencial fotosintético en plantas de melón (*Cucumis melo*) tratadas con bajas temperaturas. *Revista FAVE-Ciencias Agrarias* 13:89-96.
- Rubanga, D. P., Hatanaka, K., & Shimada, S. (2019). Development of a simplified smart agriculture system for small-scale greenhouse farming. *Sensors and Materials*, 31(3), 831-843.
- Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., Saadatian, E., ... & Sulaiman, M. Y. (2013). A review of energy aspects of green roofs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 155-168.
- Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 74, 590-601.

- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Ramakrishnan, M., Sidhu, G. P. S., Bali, A. S., & Zheng, B. (2019). Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: a review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-23.
- Sharma, S., Joshi, J., Kataria, S., Verma, S. K., Chatterjee, S., Jain, M., ... & Brestic, M. (2020). Regulation of the Calvin cycle under abiotic stresses: an overview. *Plant Life Under Changing Environment*, 681-717.
- Smith, H., Samson, G., & Fork, D. C. (1993). Photosynthetic acclimation to shade: probing the role of phytochromes using photomorphogenic mutants of tomato. *Plant, Cell & Environment*, 16(8), 929-937.
- Sunaryanti, D. P., Chozin, M. A., & Aziz, S. A. (2018). Growth analysis and physiological characteristics of several tomato genotypes under the low light intensity. *Journal of ISSAAS (International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences)*, 24(2), 129-140.
- Uzun, S. (2006). The quantitative effects of temperature and light on the number of leaves preceding the first fruiting inflorescence on the stem of tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) and aubergine (*Solanum melongena* L.). *Scientia Horticulturae*, 109(2), 142-146.
- Valladares, F., Aranda, I., & Sánchez-Gómez, D. (2004). La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Wang, L., Li, J., Zhao, J., & He, C. (2015). Evolutionary developmental genetics of fruit morphological variation within the Solanaceae. *Frontiers in Plant Science*, 6, 248. doi:10.3389/fpls.2015.00248.

- Wang, R., Gui, Y., Zhao, T., Ishii, M., Eguchi, M., Xu, H., ... & Iwasaki, Y. (2020). Determining the relationship between floral Initiation and source–sink dynamics of tomato seedlings affected by changes in shading and nutrients. *HortScience*, 1(aop), 1-8.
- Weiner, J. (2004). Allocation, plasticity and allometry in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 6(4), 207-215.
- Whittinghill, L. J., & Rowe, D. B. (2011). Salt tolerance of common green roof and green wall plants. *Urban Ecosystems*, 14(4), 783-794.
- Whittinghill, L. J., Rowe, D. B., & Cregg, B. M. (2013). Evaluation of vegetable production on extensive green roofs. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37(4), 465-484.
- Zhu, J. J., Qiang, P. E. N. G., Liang, Y. L., Xing, W. U., & Hao, W. L. (2012). Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, and fruit yield in hot pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under different shade and soil moisture during the fruit growth stage. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(6), 927-937.