

“Efecto de mallas agrícolas fotoselectivas sobre dos variedades de pepino  
(*Cucumis sativus* L.) en condiciones de ambiente protegido”

Luis Diego Alfaro Mora

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO  
CON EL GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS  
ESCUELA DE AGRONOMÍA

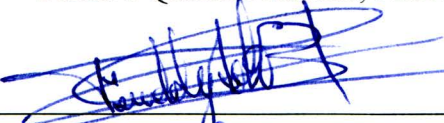
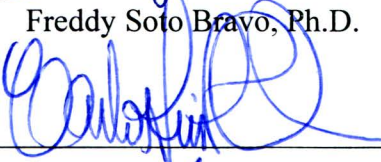
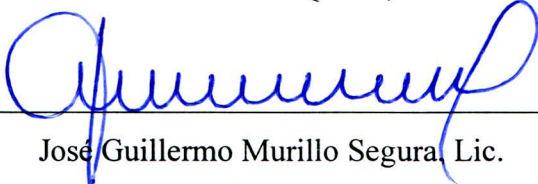

2022

“Efecto de mallas agrícolas foselectivas sobre dos variedades de pepino  
(*Cucumis sativus* L.) en condiciones de ambiente protegido”

Luis Diego Alfaro Mora

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO  
CON EL GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA

**Comité asesor**

 _____ Gustavo Quesada Roldan, Ph.D.	DIRECTOR DE TESIS
 _____ Freddy Soto Bravo, Ph.D.	MIEMBRO DEL TRIBUNAL
 _____ Carlos Luis Loria Quirós, M.Sc.	MIEMBRO DEL TRIBUNAL
 _____ José Guillermo Murillo Segura, Lic.	MIEMBRO DEL TRIBUNAL
 _____ Luis Gómez Alpizar, Ph.D.	DIRECTOR DE LA ESCUELA
 _____ Luis Diego Alfaro Mora, Bach.	SUSTENTANTE

2022

## **Agradecimientos**

A mi madre por el amor recibido, dedicación y paciencia con la que cada día se preocupó en mi recorrido académico y desarrollo de dicho documento, es simplemente excepcional y de admirar, gracias por ser una persona incondicional que me brindo las herramientas y el apoyo necesario para concluir esta etapa de vida y que siempre me deseó lo mejor de la vida.

A mi tutor por su ayuda, paciencia, dedicación y conocimiento brindados, por elegir ser profesor y permitirme ser su estudiante en este proceso educativo.

A mi universidad, facultad y docentes por haberme formado y brindado los conocimientos a lo largo de la preparación de la profesión y por su cooperación en la realización de este proyecto.

Finalmente, a quien lea este apartado, por permitirse leer mi experiencia, investigación y conocimientos, e incurrir a integrar dicha información dentro de su colección mental.

## Tabla de Contenidos

Comité asesor.....	II
Agradecimientos .....	III
Tabla de Contenidos .....	IV
Resumen.....	VII
Lista de Cuadros .....	IX
Lista de Figuras.....	XI
Lista de Anexos .....	XII
Introducción.....	1
Objetivos.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivo Específico.....	4
Revisión de Literatura.....	5
Generalidades del Pepino.....	5
Producción de Pepino .....	5
Mallas Agrícolas .....	7
<i>Malla Negra</i> .....	9
<i>Malla Roja</i> .....	10
<i>Malla Perla</i> .....	11
<i>Malla Azul</i> .....	11
<i>Malla Aluminizada</i> .....	12
Efecto del Uso de Mallas Agrícolas Fotoselectivas.....	13
Efecto del Uso de Mallas Agrícolas Fotoselectivas en Pepino.....	15
Materiales y Métodos.....	17
1. Localización Experimental .....	17
2. Material Experimental .....	17
3. Manejo .....	18
4. Diseño Experimental.....	21
4.1 Factores y Tratamientos .....	23
4.2 Variables de Respuesta .....	23
4.2.1. Microclimáticas. ....	23
	IV

4.2.2. Morfofisiológicas.....	24
4.2.3. Rendimiento.....	25
5. Análisis Estadístico.....	26
Resultados.....	27
1. Variables Microclimáticas.....	27
1.1 <i>Temperatura</i> .....	27
1.2 <i>Humedad Relativa</i> .....	28
1.3 <i>Déficit de Presión de Vapor</i> .....	29
1.4 <i>Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)</i> .....	30
1.5 <i>Calidad de la Luz</i> .....	31
2. Variables Morfofisiológicas.....	32
2.1 <i>Altura de Planta</i> .....	32
2.2 <i>Distancia Entrenudos</i> .....	35
2.3 <i>Fotosíntesis</i> .....	37
3. Variables de Rendimiento.....	39
3.1 <i>Rendimiento Total</i> .....	39
3.2 <i>Número de Frutos Totales</i> .....	40
3.3 <i>Rendimiento Según Calidad</i> .....	41
3.4 <i>Número de Frutos Según Calidad</i> .....	43
Discusión.....	44
1. Variables Microclimáticas.....	44
1.1 <i>Temperatura</i> .....	44
1.2 <i>Humedad Relativa</i> .....	45
1.3 <i>Déficit de Presión de Vapor</i> .....	45
1.4 <i>Radiación Fotosintéticamente Activa</i> .....	46
1.5 <i>Calidad de la Luz</i> .....	47
2. Variables Morfofisiológicas.....	49
2.1 <i>Altura de Planta</i> .....	49
2.2 <i>Distancia Entrenudos</i> .....	50
2.3 <i>Fotosíntesis</i> .....	50
3. Variables de Rendimiento.....	52
3.1 <i>Rendimiento Total</i> .....	52
3.2 <i>Rendimiento Según Calidad</i> .....	53
Conclusiones.....	55

Recomendaciones .....	57
Referencias.....	58
Anexos .....	71

## Resumen

Existe una demanda creciente de productos hortícolas a nivel mundial, generada por el incremento poblacional. Por este motivo, se buscan alternativas que logren aumentar los rendimientos y las calidades de los productos agrícolas, y así suplir las necesidades mundiales existentes. En muchas de las tecnologías novedosas de producción agrícola no se cuenta con suficiente información de sus efectos bajo condiciones particulares de uso. Este es el caso de esta investigación, que emplea mallas agrícolas dentro de ambientes protegidos tipo invernadero sobre cultivos como el pepino. Por lo tanto, en el presente estudio, el objetivo fue determinar el efecto de dos mallas agrícolas fotoselectivas y una malla aluminizada dentro de un invernadero sobre el microclima generado, la morfología y el rendimiento de dos variedades de pepino (*Cucumis sativus* L). La investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), de la Universidad de Costa Rica, en Alajuela, Costa Rica, durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2020. El diseño experimental utilizado fue parcelas divididas, se emplearon 570 m<sup>2</sup> de un invernadero; esta área se dividió en ocho parcelas, de las cuales dos se cubrieron con malla ChromatiNet® rojo al 50 % de sombra (R), dos con malla ChromatiNet® perla al 50 % de sombra (P), dos con malla Aluminet® al 50 % de sombra (A) y dos no recibieron cobertura de ningún tipo de malla agrícola (Testigo). Como material vegetal se utilizaron en cada parcela las variedades de pepino Larino RZ (L) y Javan RZ (J). Se midieron variables microclimáticas durante el establecimiento del cultivo, así como también, evaluaciones morfofisiológicas y de rendimiento. Se obtuvieron como resultados, que la malla aluminizada presentó la menor variación de temperatura y humedad relativa a lo largo del día; la malla perla y roja mostraron disminuciones en la

temperatura y valores altos de humedad relativa. Por su parte, los tres tipos de malla agrícola, lograron disminuir el déficit de presión de vapor y generaron disminuciones en la radiación fotosintéticamente activa, radiación global, luz roja, luz rojo lejano y relación rojo : rojo lejano, todo eso en relación al testigo sin malla. En términos morfofisiológicos, la utilización de mallas agrícolas en un ambiente protegido, por el efecto sombra acentuado por la menor radiación en la época lluviosa de Costa Rica, generó aumentos en la altura y la distancia entrenudos, así como disminuciones en la asimilación de CO<sub>2</sub>. Dentro de los tipos de malla evaluados, la malla perla fue la que permitió en mayor medida el paso de luz y consecuentemente fue en donde se observó mayor tasa de actividad fotosintética. Los rendimientos de ambas variedades de pepino disminuyeron al implementarse mallas agrícolas, así como la calidad comercial, con excepción de la malla perla, que fue la que más se acercó al mejor rendimiento obtenido por el testigo sin malla. Por tanto, bajo condiciones de estudio trabajadas, el empleo de mallas agrícolas con 50 % de sombreo, no favorece la productividad del pepino en invernadero durante la estación de época lluviosa en Costa Rica.



## Lista de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Plan nutricional de fertirrigación (mg/L) para la producción de dos variedades de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> L.) en condiciones de invernadero.....	20
<b>Cuadro 2.</b> Tratamientos utilizados y nomenclatura respectiva.....	23
<b>Cuadro 3.</b> Parámetros de cosecha para dos variedades de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ), Larino RZ y Javan RZ.....	26
<b>Cuadro 4.</b> Mediciones puntuales de radiación fotosintéticamente activa (PAR), radiación global, luz rojo, rojo lejano y relación rojo : rojo lejano (R:RL), en un día de plena exposición solar, bajo mallas agrícolas tipo aluminizada, perla, rojo y un testigo (sin malla agrícola) dentro de un invernadero y su referencia con mediciones fuera del invernadero (exterior), en Alajuela, Costa Rica, 2020.....	32
<b>Cuadro 5.</b> Medias de altura de planta (cm) según el tratamiento y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p, a los 32 y 56 días después del trasplante (DDT), en plantas de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.....	34
<b>Cuadro 6.</b> Medias de distancia entrenudos (cm) según el tratamiento y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p, a los 32 y 56 días después del trasplante, en plantas de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.....	36
<b>Cuadro 7.</b> Medias de asimilación de CO <sub>2</sub> o fotosíntesis ( $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}$ ) según el tratamiento y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p, a los 42 y 63 días después del trasplante, en plantas de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020. ....	38

**Cuadro 8.** Medias de rendimiento total (t/ha) según el tratamiento y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p, en plantas de pepino (*Cucumis sativus*) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020. .. 40

**Cuadro 9.** Medias de rendimiento (t/ha) según la categoría de calidad (comercial, no comercial o deforme) y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p, en plantas de pepino (*Cucumis sativus*) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020..... 42

## Lista de Figuras

- Figura 1.** Mallas agrícolas tipo aluminizada, roja y perla respectivamente al 50 % de sombra, colocadas en forma de techo a 2,9 m de altura, en un ambiente protegido en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica, 2020. .... 18
- Figura 2.** Diseño experimental bifactorial de parcelas divididas, del efecto de mallas agrícolas sobre dos variedades de pepino en condiciones de ambiente protegido en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica, 2020. .... 22
- Figura 3.** Temperatura (C°) registrada en el periodo, medida a 2 m del suelo entre el dosel de plantas de pepino (*Cucumis sativus*), bajo la influencia de tres tipos de mallas agrícolas (perla, rojo y aluminizada) y un testigo sin malla, bajo condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020. .... 28
- Figura 4.** Humedad relativa (%) registrada en el periodo, medida a 2 m del suelo entre el dosel de plantas de pepino (*Cucumis sativus*), bajo la influencia de tres tipos de mallas agrícolas (perla, rojo y aluminizada) y un testigo sin malla, bajo condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020..... 29
- Figura 5.** Déficit de presión de vapor (DPV) medido en KPa y registrada en el periodo, en el dosel de plantas de pepino (*Cucumis sativus*), bajo la influencia de tres tipos de mallas agrícolas (perla, rojo y aluminizada) y un testigo sin malla, bajo condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020..... 30
- Figura 6.** Radiación fotosintéticamente activa (PAR) ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ) registrada en el periodo, medida a 25 cm del suelo entre el dosel de plantas de pepino (*Cucumis sativus*), bajo la influencia de tres tipos de mallas agrícolas (perla, rojo y aluminizada) y un testigo sin malla, bajo condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020. .... 31

## Lista de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Caracterización física del sustrato a base de fibra de coco en mezcla con abono orgánico, en relación volumen 3:1*.....	71
<b>Anexo 2.</b> Porcentaje volumen/volumen vs potencial mátrico (kPa) de un sustrato de fibra de coco en mezcla con abono orgánico relación volumen 3:1, sometido a succiones de 0,5 a 10 kPa*.....	72
<b>Anexo 3.</b> Medias del número de frutos por planta totales según el tratamiento y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p respectivos, en plantas de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.....	73
<b>Anexo 4.</b> Medias del número de frutos por planta según la categoría de calidad (comercial, no comercial o deforme) y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p respectivos, en plantas de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.....	74
<b>Anexo 5.</b> Integral de luz diaria o DLI ( $\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{día}$ ) registrada en el periodo, a 2 m del suelo entre el dosel de plantas de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> ), bajo la influencia de tres tipos de mallas agrícolas (perla, rojo y aluminizada) y un testigo sin malla, bajo condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.....	75

## **Introducción**

Ante la actual y futura demanda de productos agrícolas provocada por el aumento de la población mundial, existe la necesidad de implementar tecnologías que permitan incrementar los rendimientos y la calidad de los productos hortícolas de manera sostenible (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018), ya sea en campo abierto o en ambientes protegidos.

Un ambiente protegido se refiere a toda estructura cubierta por materiales que permiten crear condiciones microclimáticas favorables para los cultivos establecidos que se encuentran dentro del mismo. Al modificar y controlar el ambiente (suelo, temperatura, luz, viento, humedad relativa, etc.), se logra un desarrollo óptimo de las plantas cultivadas, además de que se facilita acrecentar la productividad y calidad del producto cosechado (Santos et al., 2010). Méndez & Marín Thiele (2015), mencionan que la agricultura bajo ambientes protegidos al mismo tiempo de mejorar la producción, facilitan la optimización de recursos e insumos, debido a que controlan en parte las condiciones ambientales externas.

Una estructura común entre los ambientes protegidos es el invernadero. Estas construcciones separan al cultivo del exterior, y es elaborado con materiales transparentes y con zonas de ventilación filtrada; lo anterior con el objetivo de proporcionar y mantener un ambiente de crecimiento que favorezca la producción de las plantaciones (Santos et al., 2010).

Por otro lado, se tienen las casas mallas que utilizan mallas agrícolas como material de cubierta y laterales de la estructura, lo que provee un sombreado continuo sobre el cultivo,

con el fin de protegerlo de factores externos como la alta exposición a la radiación solar y la temperatura. Esto influye positivamente sobre el desarrollo vegetal, sin aislar en su totalidad al cultivo del ambiente exterior (Ayala-Tafoya et al., 2011).

Los ambientes protegidos son una herramienta valiosa para atender las exigencias de la producción actual y futura, pero existen vacíos de información sobre cómo incrementar rendimientos en cultivos hortícolas, como es el caso del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). Técnicas como el uso de mallas agrícolas surgen como una opción para potenciar la productividad, ya que estas, según el tipo que se utilicen, pueden llegar a influir en aspectos morfológicos, acumulación de fotoasimilados y microclima (Gutiérrez et al., 2002; Gutiérrez & Jiménez, 2007).

En los últimos años se ha implementado el uso de mallas agrícolas de tipo fotoselectivas, con el fin de manipular y modificar directamente el desarrollo de los cultivos, ya sea utilizándose a campo abierto o dentro de invernaderos. Las mallas agrícolas fotoselectivas (o también conocidas como mallas de colores), tienen la capacidad de filtrar la radiación solar excesiva, debido a que, el material por el cual están compuestas absorbe el espectro lumínico solar correspondiente a su color complementario (Pérez, 2017). Aparte de proporcionar una barrera física, proporcionan un filtrado lumínico con propiedades sobre las plantas (Brant et al., 2009). Esto puede generar alteraciones en la morfología, fisiología y en el desarrollo y productividad de las plantas, a causa de la modificación en la composición del espectro lumínico provocado por las mallas (Kotilainen et al., 2018). Estas alteraciones son específicas para cada cultivo y varían según el tipo de malla implementado.

Además de mallas tipo fotoselectivas (colores), existen mallas con solo fines de sombreado y de tipo termorefectivas; estas son utilizadas para disminuir la intensidad de la radiación y temperatura, así como, difundir la luz solar, beneficiando al cultivo presente (Pérez, 2017). Según Lima et al. (2010), las propiedades que las mallas posean, podrían incidir cambios en el microclima subyacente, generando posibles alteraciones metabólicas en los cultivos expuestos.

Al igual que con los ambientes protegidos, en Costa Rica se carece de información precisa sobre la implementación de mallas agrícolas, existiendo información en algunas plantas ornamentales (Ducca Jiménez, 2005; Gutiérrez & Jiménez, 2007; Murillo et al., 2004) y hortalizas de hoja (Fallas Campos, 2020), pero sí un vacío especialmente cuando se trata de hortalizas de fruto. Se desconoce el impacto directo que este tipo de mallas puede tener en el microclima que se forme al emplearse dentro de un invernadero y en las posibles respuestas que puedan darse en los cultivos, tanto en la morfofisiología como en el rendimiento y calidad. Por lo tanto, es necesario validar los resultados que pueden derivarse de la combinación de dos herramientas potenciadoras de producción (invernadero y malla agrícola), debido a que son tecnologías que pueden generar beneficios al sector agrícolas del país antes la actual y futura demanda alimentaria.

El presente estudio tiene como fin determinar el efecto que genera el uso de diferentes mallas agrícolas dentro de un ambiente protegido tipo invernadero sobre dos variedades de pepino y el microclima del cultivo, en Alajuela, Costa Rica.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Determinar el efecto del uso de mallas agrícolas fotoselectivas en invernadero sobre el microclima, morfo-fisiología y rendimiento de dos variedades de pepino (*Cucumis sativus* L).

### **Objetivo Específico**

- Caracterizar el microclima generado en el área afectada por el uso de mallas de colores y malla termorefectora en un ambiente protegido.
- Cuantificar el efecto del uso de mallas agrícolas fotoselectivas en un ambiente protegido sobre parámetros morfológicos y fisiológicos de dos variedades de pepino (Larino RZ y Javan RZ).
- Determinar el efecto del uso de mallas agrícolas en un ambiente protegido sobre el rendimiento de las variedades Larino RZ e Javan RZ.



## **Revisión de Literatura**

### **Generalidades del Pepino**

El pepino es un fruto comestible, perteneciente a la familia de las cucurbitáceas. Se caracteriza por su alto contenido de agua y minerales, y por su valor comercial en la industria farmacéutica, cosmetológica y alimentaria (CONABIO, 2005). Se considera que el pepino es originario de la India, en las cercanías del Himalaya; del continente asiático pasó a Europa y finalmente al continente americano (Lv et al., 2012). En la actualidad, los pepinos más comunes para el consumo son el americano, europeo, el del este medio, holandés y oriental (López-Elias et al., 2015).

El pepino es una planta de polinización abierta y posee flores de tipo masculinas y femeninas (monoicas). Estas plantas pueden llegar a presentar problemas en el proceso de polinización, lo que genera mal cuaje, deformación o pérdida total de frutos. Esta complicación es comúnmente disminuida al cultivarse en invernaderos, debido a que la semilla utilizada generalmente es ginoica, lo cual implica que las plantas solo poseen flores femeninas, las cuales forman frutos partenocárpicos que no requieren del proceso de polinización (Gruda et al., 2017).

### **Producción de Pepino**

Para la producción óptima y desarrollo del cultivo del pepino, se requieren temperaturas en el ámbito de 18° a 28° C (Bojacá & Monsalve, 2012, como se citó en Cruz-Coronado & Monge-Pérez, 2019), humedades relativas en el ambiente entre el 70 % y 90 % (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2002),

valores de integral de luz diaria entre los 15 y 30 mol·m<sup>2</sup>·día (Mattson, 2017) y valores de déficit de presión de vapor entre los 0.4 y 1.4 kPa (Konopacki et al., 2018).

Factores como la humedad y la temperatura pueden ser controlados y modificados en ambientes protegidos, por lo cual, la producción de pepino es mayor en estas estructuras. Al respecto, López-Elías et al. (2011) mencionan que la cantidad de frutos de pepino en ambientes protegidos tipo invernadero, es de dos a nueve veces mayor que la siembra a campo abierto; esto según el nivel tecnológico, de manejo y de las condiciones climatológicas. Así, estudios muestran valores de rendimientos de pepino producido en condiciones de invernadero en México desde los 110 t ha<sup>-1</sup> hasta los 305,4 t ha<sup>-1</sup> (López-Elías et al., 2015). Zamora (2017) registró rendimientos potenciales por arriba de las 300 t ha<sup>-1</sup> en pepino tipo slicer o americano.

En Costa Rica la producción local de pepino está principalmente orientada a la demanda nacional. Para el caso de nuestro país, se reporta un rendimiento promedio de 9085 kg/ha para el cultivo de pepino y pepinillo (2010-2018) en condiciones de ambiente protegido y campo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2020). Sin embargo, tal y como lo mencionan Chacón-Padilla & Monge-Pérez (2016), existe poca investigación acerca de la productividad y la calidad del pepino bajo condiciones de ambiente protegido. Estos autores mencionan que, en el 2010, un 13,28 % de la producción de cucurbitáceas se dio bajo estos sistemas. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2014), se reportó la existencia de 302 fincas productoras de pepino, bajo la modalidad de ambientes protegidos, siendo de estas 64 fincas con sarán, 49 del estilo casa sombra, 128 con techos plásticos, 34 invernaderos y de otros tipos 27.

## **Mallas Agrícolas**

Las mallas agrícolas son redes entretejidas que tienen como fin la protección del cultivo de factores bióticos y abióticos. Comúnmente son elaboradas a base de polietileno de alta densidad (HDPE) (Romero-Gómez, Suárez-Rey, & Soriano, 2012) y se pueden encontrar en diversos colores fotoselectivos, materiales, diseño del tejido y porcentajes de sombreo.

Las mallas fotoselectivas logran modificar el espectro de luz en las regiones ultravioleta, rojo visible y rojo lejano, al igual que logran intensificar la luz difusa a un 50 % o más (Shahak et al., 2004). Además, según los aditivos cromáticos que se le incorporen al polímero y el diseño del tejido que posee la malla se pueden afectar sus componentes térmicos, consecuentemente incidiendo sobre el microclima (temperatura y humedad principalmente) de la plantación (Márquez Quiroz et al., 2014; Milenković et al., 2019). Se han reportado otros efectos benéficos asociados al uso de las mallas, tales como: protección a la incidencia excesiva de luz solar y viento, la disminución del estrés térmico, las quemaduras por sol y el aumento en la eficiencia del recurso hídrico; además, evitan la entrada de agentes externos como aves, granizo y algunos insectos (Kotilainen et al., 2018; Pérez, 2017; Shahak, 2014; Josef Tanny, 2013). Por lo cual estas mallas fotoselectivas, aparte de proporcionar una barrera física, propician mediante su sombreo, un filtrado de las diferentes bandas del espectro de luz (Shahak et al., 2009), mejorando también la dispersión y la composición del espectro lumínico (Shahak et al., 2008).

En una investigación realizada por Romero-Gómez, Suárez-Rey, Castilla, et al. (2012), se indica que las mallas agrícolas logran modificar la luz que la atraviesa, sea esta difusa o directa, logrando generar un aumento en la cantidad de luz difusa. Esto se

demostró utilizando mallas traslucidas, las cuales generaban diferentes resultados según la densidad, porosidad y material del que estén compuestas. Shahak et al. (2009), también comprueban que al utilizar mallas fotoselectivas se aumenta la luz difusa, la cual mejora la cobertura en el dosel interno del cultivo con espectros lumínicos de banda corta o larga. Al utilizar diversos colores en las mallas, el material que las compone, absorbe la banda de luz del espectro solar correspondiente a su color complementario, generando un cambio en las propiedades de reflexión, absorción y transmitancia de la luz que logra atravesar la malla (Romero-Gámez, Suárez-Rey, Castilla, et al., 2012). Las modificaciones de dichas propiedades físicas de la luz son las que tienen la capacidad de generar cambios en la morfofisiología de las plantas (Pérez, 2017; Rodríguez & Morales, 2015), rendimientos y calidades de los frutos (Rodríguez & Morales, 2015).

Las mallas agrícolas son capaces de estimular algunas respuestas fisiológicas provocadas y reguladas por la luz, por ejemplo, la fotosíntesis y la fotomorfogénesis, que producen efectos sobre el crecimiento del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y la producción de metabolitos secundarios. Todo esto como consecuencia a la exposición e incidencia de la luz azul (400 a 500 nm), roja (600 a 700 nm) y roja lejana (700 a 800 nm), captada por fotoreceptores, como los fitocromos y criptocromos (Devlin et al., 2007).

En el caso de los fitocromos, estos están relacionados principalmente en la percepción de la luz ubicada en la región roja e infrarroja, involucrando procesos tales como la expansión foliar, elongación de tallos, germinación, inducción floral, ritmos circadianos, desarrollo de cloroplastos, percepción de plantas cercanas y evasión de sombra (Germanà et al., 2003; Paniagua-Pardo et al., 2015). Por su parte, los criptocromos están

relacionados con la percepción de luz azul, controlando aspectos relacionados a la morfología de la planta, transición al proceso floral y a la inhibición de la elongación del tallo (Paniagua-Pardo et al., 2015).

### ***Malla Negra***

Como se indicó anteriormente, existen diversos tipos de mallas agrícolas en distintas presentaciones y colores, las cuales dependiendo del color que reflejen, estas generan diferentes cambios morfofisiológicos en las plantas. Así por ejemplo, el color negro de las mallas agrícolas, absorbe la mayor parte de la banda visible del espectro electromagnético, causando disminución de la fotosíntesis, la fotomorfogénesis y la difusión de la luz, lo que conlleva a pérdidas en el rendimiento (Ayala-Tafoya et al., 2011; Ayala-Tafoya, Yáñez-Juárez, et al., 2015; Valera et al., 2001). Un ejemplo es en el cultivo de tomate, donde Ayala-Tafoya et al. (2011), reportan que mallas de color negro presentaron menores rendimientos totales y de producto exportable en comparación con mallas color perla y de tipo aluminizada.

De manera similar, Martínez-Gutiérrez et al. (2016), en un estudio utilizando el cultivo de albahaca bajo mallas color negro, obtuvieron plantas de mayor altura, pero con valores menores de peso seco, diámetro de tallo y número de brotes, así como menor contenido de lípidos. Por otra parte, una cualidad positiva que brinda la implementación de mallas color negro, es la protección ante los rayos ultravioletas provenientes del sol, evitándose así la fotodegradación de cloroplastos en diferentes plantas (Leite, 2005).

## ***Malla Roja***

Las mallas agrícolas de color rojo han ganado relevancia en los últimos años, por los efectos observados en las plantas. Dentro de esos resultados obtenidos está la generación de mayor volumen vegetal o longitud de tallo, la promoción de mejoras en el desarrollo radical y el aumento en la floración y la maduración (Caraballo, 2017).

También, Ilić et al. (2017), informan que las mallas de color rojo logran absorber los rayos UV, azules, verdes y que alcanzan a enriquecer el espectro de los rayos color rojo y rojo lejano. Al aumentar el espectro rojo, se promueven procesos fisiológicos como la fotomorfogénesis, debido a la interacción de este color con la replicación de plastidios, síntesis de clorofila y antocianinas. Además, se fomenta la formación de primordios florales y foliares; asimismo, se ve involucrado en la inhibición de floración y elongación de hipocótilos, según el tipo de planta (Meisel et al., 2011).

Se ha observado que la malla roja contribuye como un mejorador de tallos de flores y ramas decorativas, así como un potenciador del rendimiento en el cultivo de pimiento; mientras que, en cultivos como manzanos y durazno este tipo de malla mejora la calidad de fruta (Ganelevin, 2008). En el establecimiento en vivero de plántulas de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst (mezquite blando, especie arbórea de importancia en la reforestación en ambientes semiáridos y áridos), se generó un aumento en el crecimiento del 24 % en comparación con plántulas que no poseían malla roja, lo cual indujo a una mayor eficiencia fotosintética en las plántulas debido a su crecimiento (Basave Villalobos et al., 2017).

### ***Malla Perla***

El color perla aparte de reducir significativamente el calor, provoca mayor difusión de la luz, convirtiendo la luz directa en luz difusa, lo que aumenta la luminosidad en zonas con mayor densidad foliar. El color perla no absorbe o enriquece longitudes de onda del espectro lumínico, pero al aumentar la dispersión de luz en mayor cantidad, en comparación con otros colores, llega a producir aumentos en la masa y en la cantidad de metabolitos secundarios de los frutos, así como mayor cantidad de clorofila en las hojas, debido al mejor aprovechamiento lumínico (Ilić et al., 2017).

En algunos cultivos frutales como manzana y pera, la implementación de mallas color perla generan un aumento en el tamaño de la planta, así como también mejora de la calidad y cantidad de los frutos (Caraballo, 2017; Ganelevin, 2008). En este sentido, Márquez Quiroz et al. (2014) observaron que este tipo de malla foselectiva, incrementó la producción de tomate cherry 116 % en comparación con la malla de color negro y 122,8 % en comparación con el testigo.

### ***Malla Azul***

Se ha observado que, con la utilización de mallas de color azul se generan plantas más compactas y tallos más cortos, evitando la necesidad de aplicación de reguladores de crecimiento; asimismo, fomenta la floración tardía en algunos cultivos y la disminución de la tasa de crecimiento (Caraballo, 2017; Ganelevin, 2008). Ilić et al. (2017) mencionan que las mallas azules están diseñadas para absorber rayos ultra violeta, rojo, rojo lejano, mientras enriquece los espectros azules; y que la utilización de este tipo de mallas genera un aumento en la cantidad de clorofila en diferentes cultivos, por ejemplo, la lechuga.

### ***Malla Aluminizada***

Por otra parte, también se cuenta con mallas agrícolas de tipo aluminizadas o termorefllectoras, las cuales poseen un baño o recubierta de aluminio en sus tramas, por lo que logran producir un efecto termo-reflector a la radiación lumínica del exterior que favorece el descenso en la temperatura en aquellos objetos que estén por debajo de la influencia de esta malla interna. No se ha demostrado que se genere este efecto con la misma eficiencia en el resto de las mallas agrícolas comunes o de colores (Caraballo, 2017; Ganelevin, 2008).

Al poseer las mallas aluminizadas, una película de aluminio en su tramado, no solo logran una reducción de temperatura en el ambiente, sino que también se mantiene un descenso constante, debido a las propiedades aislantes que pueden generar este tipo de materiales ya sea en verano o invierno (Caraballo, 2017; Ferreira et al., 2014). Espinoza Morales (2010), menciona que las bandas de aluminio que posee este tipo de malla agrícola alcanzan una reflexión de la luz al 100 % y que en horas de baja o nula actividad solar, se logra modificar el microclima del cultivo, debido a que el calor emitido por las plantas cuando disminuye la temperatura exterior, no escapa del todo y por la presencia de la malla aluminizada esta radiación es devuelta a la planta, manteniéndose la temperatura estable. Según Kittas et al. (2003), al utilizar mallas aluminizadas dentro de un invernadero con cultivo de rosas, obtuvieron una homogeneidad en el microclima del dosel de las plantas y en el aire durante las horas nocturnas y de madrugada, alcanzando los 3° C y 2.5° C respectivamente, más que en las mediciones sin el uso de mallas termorefllectoras, indicando una mayor temperatura nocturna.



Asimismo, Ferreira et al. (2014), mostraron el efecto de mallas de sombreo reflectivas sobre el cultivo de pimiento en Brasil, y observaron que con la implementación de este tipo de malla, se disminuyó el 48 % de la radiación fotosintéticamente activa incidente sobre el cultivo, al igual que un mayor número de hojas. Asimismo, no obtuvieron cambios significativos en temperatura y humedad, ni en valores de altura de planta e índice de área foliar.

### **Efecto del Uso de Mallas Agrícolas Foselectivas**

La modificación en el espectro de luz que reciben las plantas es el efecto más evidente del uso de las mallas agrícolas, pero no el único, pues también es importante el efecto en el microclima, la calidad y cantidad de luz. Shahak et al. (2009), al utilizar un espectrómetro para medir la reflectancia de la luz bajo mallas foselectivas, encontraron diferencias en la composición espectral, llegando a obtener con una malla negra de 300 a 850 nm, con mallas de color rojo valores del espectro menores a los 580 nm y con mallas de color perla mediciones menores a 380 nm.

El uso de cubiertas de sombreo en invernaderos con el fin de controlar el ambiente del entorno, es de las herramientas más utilizadas en zonas tropicales o de alta luminosidad. Holcman y Sentelhas (2012), llevaron a cabo un estudio con mallas plásticas en un invernadero con bromelias, concluyendo que los colores y el tipo de plástico utilizado generan cambios en el microclima. Por ejemplo, con mallas de sombreo de color rojo se logra promover la transmisividad de luz solar en un 27 % y la luz PAR, mientras que el color azul, presentó aumentos de 1,3° C en relación con la temperatura externa, así como, mayor humedad relativa. Por el contrario, Talamini et al. (2011) notaron que al utilizar una malla color blanco se redujo en un 18,4 % la radiación PAR a lo largo del día.

Por otro lado Valera et al. (2001), mencionan que la utilización de mallas de sombreo de colores pueden llegar a aumentar la temperatura de la malla utilizada y consecuentemente la temperatura interna del invernadero; lo anterior debido a la absorción de la radiación debida a los colores. Así mismo, exponen Kittas et al. (1999) que la utilización de mallas ya sea en el interior o como recubierta en el exterior de un invernadero, llegan a generar un obstáculo en la ventilación del invernadero, pudiendo ocasionar problemas sobre el cultivo y el microclima interno de la estructura.

Las investigaciones del tema en Costa Rica son escasas, sin embargo, literatura generada en otras latitudes muestran efectos de mallas agrícolas fotoselectivas sobre el crecimiento y producción de diversos cultivos. Shahak et al. (2008) en Israel, determinaron que las mallas de color perla y roja promovieron un aumento de productividad en hortalizas de hoja, pimientos y ornamentales. Asimismo, mencionan que, las poblaciones de insectos variaron según los colores utilizados, disminuyendo la incidencia de áfidos cuando se utilizaron mallas de color perla y amarilla, comparándose estas con una malla negra.

Por otro lado, Rodríguez y Morales (2015) en Chile, evaluaron el efecto de mallas sombreadoras sobre la producción y calidad de arándanos, infiriendo que la utilización de mallas agrícolas de tipo aluminizado retrasaron la cosecha y sus fases fenológicas, así como también una disminución en la cantidad de sólidos solubles y peso del fruto. Álvarez-Avilés et al. (2010) en el estado de Sonora, México, al estudiar el efecto del uso de mallas sombra de colores sobre la calidad y rendimiento de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.), evidenciaron que la malla de color blanco generó un incremento de 173 % en el rendimiento con respecto al testigo.

En cuanto a los efectos fisiológicos sobre el uso de mallas agrícolas fotoselectivas Gaurav et al. (2016), utilizaron mallas de color blanco sobre *Dracaena fragrans*. Se obtuvo tasas fotosintéticas mayores en un 41,9 %, así como mayor conductancia estomática y tasa transpiratoria, en comparación con el uso de mallas fotoselectivas de color verde, rojo, negra y el testigo. Asimismo, Díaz-Perez & St. John (2019) analizaron el efecto de mallas fotoselectivas sobre pimiento morrón. Los autores observaron que al utilizar una malla plateada, la fotosíntesis neta y la conductancia estomática fueron mayores con valores de  $29,1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  y  $820 \text{mmol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  respectivamente, en comparación con el tratamiento sin sombra con  $25,1 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  y  $515 \text{mmol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  correspondientemente. Además, la concentración de dióxido de carbono y la eficiencia del fotosistema II fueron mayores en los tratamientos con sombra.

### **Efecto del Uso de Mallas Agrícolas Fotoselectivas en Pepino**

En relación a la implementación de mallas fotoselectivas sobre el cultivo de pepino, Ayala-Tafoya, Yáñez-Juárez, et al. (2015), realizaron una investigación en condiciones de casa malla en el estado de Sinaloa, México, utilizando distintas mallas agrícolas (mallas al 30 % de sombra en colores gris, perla, azul, roja, negra y tipo aluminizada). En esta investigación se encontró un incremento en los rendimientos de hasta un 71,1 %; 48,1 % y 46,1 % con los colores perla, roja y aluminizado respectivamente, en comparación con malla color negro.

En un estudio de luz solar transmitida por mallas coloridas sobre la fotosíntesis y rendimiento del pepino en condiciones de casa malla, Ayala Tafoya et al. (2018) en el estado de Sinaloa, México, determinaron que las mallas de color azul y roja transmitieron mayor densidad de flujo de fotones fotosintéticos en comparación con mallas aluminizadas,

grises, negras y perla. También se observó un aumento en las actividades de intercambio gaseoso como la tasa transpiratoria, la conductancia estomática y la asimilación de dióxido de carbono con el uso de mallas de colores; además de un incremento del 71 % en el rendimiento con la malla de color perla.

# Materiales y Métodos

## 1. Localización Experimental

La investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), de la Universidad de Costa Rica, ubicada en el Barrio San José de Alajuela, a 840 msnm, y a 10°00'396" de latitud norte y 84°15'970" de longitud oeste. Se trabajó en un invernadero tipo multicapilla de cuatro naves, con un área total de 2100 m<sup>2</sup> y 4 m de altura a la canoa. La estructura utilizada tenía como cubierta exterior plástico pentacapa multidifusor de 200 um, mallas antiáfidos de 50 mesh en las paredes laterales y ventanas cenitales automáticas para su climatización, las cuales se activaban cuando se registran 25° C de temperatura interna. La fase de campo inició el 1 de octubre del 2020 y concluyó el día 29 de diciembre del 2020.

## 2. Material Experimental

Se utilizó como material vegetal las variedades de pepino (*Cucumis sativus*) “Larino RZ®” y “Javan RZ®” ambos de la casa comercial semillerista Rijk Zwaan; estas dos variedades fueron diseñadas para uso preferencial en ambientes protegidos. Referente a las mallas agrícolas, se trabajó con dos mallas fotoselectivas, se utilizó ChromatiNet® rojo al 50 % de sombra (R) y ChromatiNet® perla también al 50 % de sombra (P). En la investigación se incluyó una malla agrícola aluminizada, la Aluminet® al 50 % de sombra (A). Todas las mallas utilizadas son del fabricante Ginegar Plastic Products Ltd. Israel.

El área experimental total utilizada dentro del invernadero fue de 570 m<sup>2</sup>, la cual contó con doce hileras de siembra, de 30 m de largo cada hilera. Se colocó en cada una de ellas 48 macetas plásticas de 7 L de capacidad, con sustrato compuesto de fibra de coco y

abono orgánico comercial proveniente del Ingenio Juan Viñas. La relación volumen : volumen del sustrato utilizado fue 3 : 1, en mayor proporción la fibra de coco (Anexo 1). En cada hilera, la distancia entre plantas fue de 40 cm, y se dejó un espacio de 3 m cada 12 plantas para disminuir el efecto borde provocado por el movimiento del sol este-oeste.

Se colocó una única planta por maceta, utilizando un total de 576 plantas en todo el experimento, siendo 384 plantas borde y 192 plantas útiles. Las mallas agrícolas se colocaron sobre el cultivo a una altura de 2,9 m, sobre el sistema de soporte del tutorado formando una especie de techo (Figura 1). El trasplante se realizó el día 1 de octubre del 2020, utilizando plantas con una hoja verdadera en desarrollo.



**Figura 1.** Mallas agrícolas tipo aluminizada, roja y perla respectivamente al 50 % de sombra, colocadas en forma de techo a 2,9 m de altura, en un ambiente protegido en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica, 2020.

### **3. Manejo**

El manejo del cultivo fue el mismo para toda el área establecida. Se utilizó cuerda plástica negra agrícola como guía de tutorado vertical para cada planta, soportado por alambres metálicos a 2,9 m de altura para conformar el tutorado aéreo. Se colocó un lateral de riego para cada hilera de siembra, paralelo a las macetas, con 48 goteros de 4 L/h con doble salida de manguera tipo espaguete y espiga de salida, utilizando una espiga con

descarga efectiva de 2 L/h por maceta. La fertirrigación utilizada fue automatizada y diaria, utilizando manualmente un sensor de capacitancia "TDR" (Time Domain Reflectometry, Decagon Devices® mod. GS3) conectado a un "datalogger" (Decagon Devices® ProCheck) para el monitoreo de humedad del sustrato. Se realizaron análisis de retención de humedad del sustrato (Anexo 2), con el fin de optimizar el manejo hídrico de la planta. Se empleó un plan nutricional con tres formulaciones para las distintas etapas fenológicas del cultivo (Cuadro 1). El sistema de podas se basó en mantener durante todo el ciclo de siembra un eje primario, al igual que se mantuvo una conducción continua de las plantas sobre el eje de la cuerda del tutorado. Para el control de plagas y enfermedades se consideraron estrategias de manejo integrado con monitoreos constantes, aplicación oportuna de productos químicos y biológicos cuando los umbrales alcanzados por los organismos así lo demandaron; respetando siempre las normativas exigidas por el programa de Buenas Prácticas Agrícolas con el que trabaja la EEAFBM.

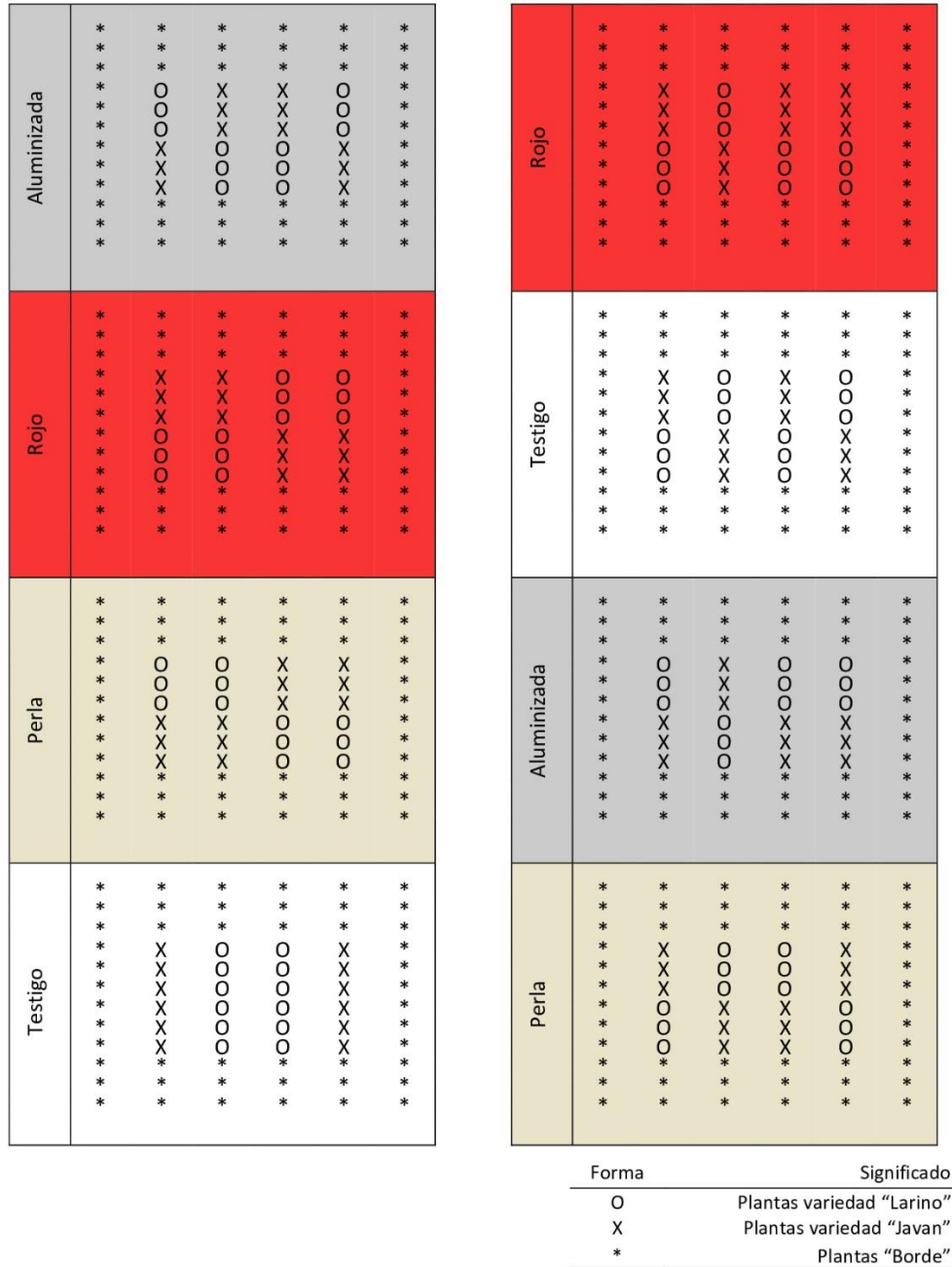
**Cuadro 1.** Plan nutricional de fertirrigación (mg/L) para la producción de dos variedades de pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de invernadero.

Nutriente	Etapa fenológica		
	Vegetativa	Floración	Fructificación
Nitrógeno	165,83	162,2	188,08
Fósforo	43,07	52	53,6
Potasio	212,83	233,5	248,67
Calcio	160,3	170,25	180,17
Magnesio	34,17	45	48,67
Azufre	53,9	57,93	59,93
Cobre	0,25	0,18	0,18
Hierro	1,68	2,23	2,23
Zinc	0,2	0,22	0,22
Manganeso	0,46	0,43	0,43
Molibdeno	0,22	0,34	0,38
Boro	0,6	0,6	0,6
pH	5,2	5,4	5,7
CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1720	2099	2250



#### **4. Diseño Experimental**

El arreglo espacial utilizado fue de parcelas divididas (Figura 2). El área total se dividió en ocho secciones, formando parcelas de 71,25 m<sup>2</sup>, de las cuales, a seis de estas se les asignó un tipo de malla agrícola y a dos parcelas ningún tipo de malla sobre su superficie (Testigo, T); dicho procedimiento se realizó aleatoriamente. Cada parcela poseía ocho subparcelas, de las cuales cuatro pertenecían a la variedad Larino RZ y cuatro a la variedad Javan RZ, asignándose dichas subparcelas de manera aleatoria dentro de cada parcela. Las hileras de los extremos de cada parcela fueron consideradas como bordes experimentales, al igual que las tres primeras y tres últimas plantas de cada sección de malla agrícola o testigo (Figura 2).



**Figura 2.** Diseño experimental bifactorial de parcelas divididas, del efecto de mallas agrícolas sobre dos variedades de pepino en condiciones de ambiente protegido en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica, 2020.

#### ***4.1 Factores y Tratamientos***

El estudio fue tipo bifactorial, siendo el primer factor las tres mallas agrícolas y como segundo factor las dos variedades de pepino utilizadas. Las posibles combinaciones entre los dos factores fueron los tratamientos a analizar (Cuadro 2); cada tratamiento tuvo dos repeticiones.

**Cuadro 2.** Tratamientos utilizados y nomenclatura respectiva.

Tratamientos	Nomenclatura
Malla color rojo / variedad Larino	RL
Malla color rojo / variedad Javan	RJ
Malla color perla / variedad Larino	PL
Malla color perla / variedad Javan	PJ
Malla aluminizada / variedad Larino	AL
Malla aluminizada / variedad Javan	AJ
Testigo / variedad Larino	TL
Testigo / variedad Javan	TJ

#### ***4.2 Variables de Respuesta***

##### **4.2.1. Microclimáticas.**

Para la caracterización del microclima, se realizaron mediciones ambientales las 24 horas del día, durante el periodo de investigación. Se cuantificó la temperatura y humedad relativa (HR) por medio de sensores automatizados marca Extech modelo SD800 de sonda

incorporada, cubiertos con escudos de protección a platos blancos marca ONEmet, ubicados a 2 m de altura y se calculó el déficit de presión de vapor (DPV) con los datos obtenidos. Se realizaron mediciones diarias de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), empleando un sensor Line Quantum Sensor de Apogee modelo LQS 20, a una altura de 25 cm entre el dosel del cultivo, en dirección perpendicular a la hilera de siembra. Dichos sensores se conectaron a un registrador de datos marca Campbell Scientific modelo CR10X con un expansor de entrada AM1632A. También se realizó una medición puntual de la calidad de la luz mediante equipos como un sensor Quantum Li-190R (radiación fotosintéticamente activa, 400 a 700 nm), un piranómetro Li-200R (radiación total o global, 400 a 1100 nm) y un sensor SKR 110 (luz roja, roja lejana y relación rojo : rojo lejano) con un data logger Licor Li400, realizándose esta medición a una altura de 2 m en las 8 parcelas experimentales y en el exterior del invernadero a los 42 DDT (días después del trasplante).

#### **4.2.2. Morfofisiológicas.**

Se llevaron a cabo mediciones de altura de planta y distancia entrenudos a los 32 DDT y a los 56 DDT. Además, se midió la fotosíntesis (asimilación de CO<sub>2</sub>) a los 42 DDT y 63 DTT. Dichas variables tienen como fin obtener valores del desarrollo morfofisiológico de las plantas.

Las variables se evaluaron de la siguiente forma: 1) altura de la planta: utilizando una cinta métrica en centímetros, se midió de la base de la planta hasta el meristemo apical; 2) distancia entrenudos: utilizando una cinta métrica en centímetros, se tomó el largo de los tres entrenudos siguientes a la tercera hoja completamente expandida más cercana al meristemo apical del eje primario; 3) fotosíntesis: se cuantificó en la cuarta hoja

completamente expandida cercana al meristemo apical, empleando un IRGA modelo LICOR 6400XT Portable Photosynthesis System. Para dichas variables, se evaluó una planta por cada subparcela, por lo cual se obtuvieron cuatro plantas por tratamiento por parcela y al tenerse dos repeticiones de cada tratamiento, se tuvo un total de ocho plantas medidas por tratamiento; las plantas mencionadas fueron seleccionadas aleatoriamente de previo y marcadas numéricamente con una cinta para facilitar su identificación y realizar las mediciones continuamente.

#### **4.2.3. Rendimiento.**

En cuanto a las mediciones de rendimiento (toneladas/hectárea), se analizaron dos plantas por subparcela específica, por ende, se midió un total de dieciséis plantas por tratamiento. Las plantas fueron seleccionadas aleatoriamente y diferenciadas con cintas numeradas para cada tratamiento para realizar las respectivas mediciones durante el ciclo. Se realizaron de dos a tres cosechas por semana a partir de los 32 DDT y hasta el final del ciclo. En cada cosecha, se registró para cada tratamiento la masa fresca en gramos y el número de frutos totales por tratamiento, así como también se clasificó la masa y el número de frutos según la categoría de calidad a la que pertenecieran los frutos (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Parámetros de cosecha para dos variedades de pepino (*Cucumis sativus*), Larino RZ y Javan RZ.

Variedad	Categoría		
	Comercial	No comercial	Deforme
Larino RZ	El fruto se encuentra entre 9 y 11 cm de largo, con un diámetro de 2,5 a 3 cm	El fruto es menor a 9 cm de largo, pero posee el diámetro comercial	El fruto presenta curvatura pronunciada (mayor al 15 % de la longitud distal) o deformación
	El fruto se encuentra entre 23 y 25 cm de largo, con un diámetro de 6 cm	El fruto es menor a 23 cm de largo, pero posee el diámetro comercial	El fruto presenta curvatura pronunciada (mayor al 15 % de la longitud distal) o deformación

## 5. Análisis Estadístico

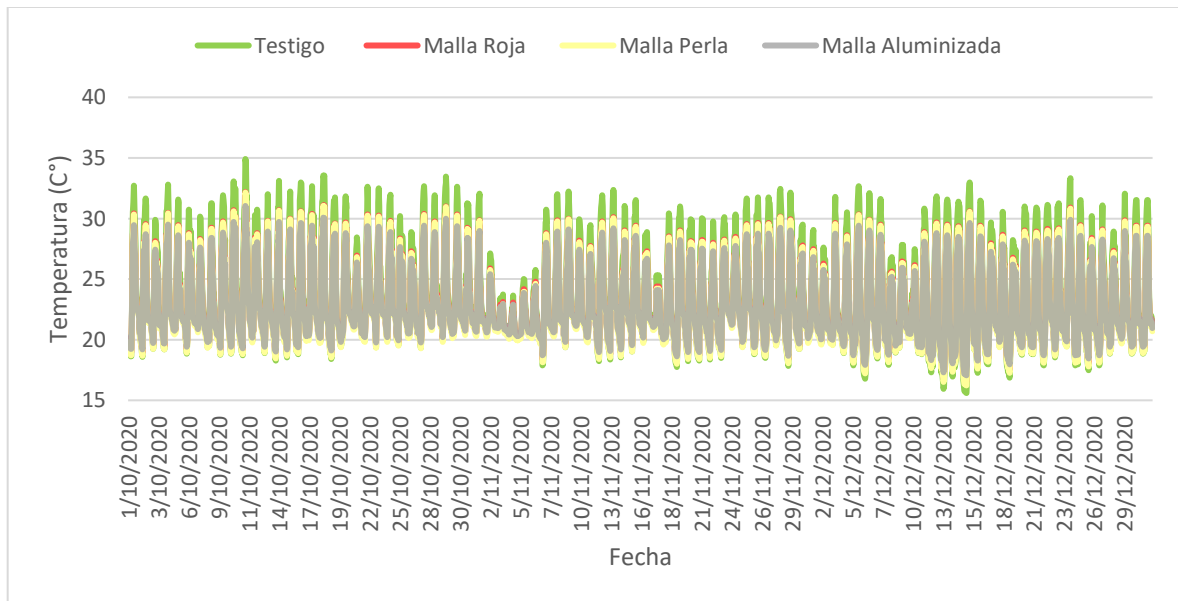
Se realizó un análisis de variancia (ANOVA), utilizando una significancia del 5 %. Para la comparación de tratamientos se utilizó Tukey, fijando en primer nivel la variedad de pepino y en segundo nivel el tipo de malla agrícola. Para el análisis estadístico se utilizó el software especializado R (R Core Team, 2021), con la interfaz de visualización RStudio (RStudio Team, 2021).

## **Resultados**

### **1. Variables Microclimáticas**

#### **1.1 *Temperatura***

Los valores mayores de temperatura fueron observados en el testigo sin malla agrícola, seguidos por los tratamientos con malla roja, perla y aluminizada, con porcentajes de diferencia respecto al testigo de 6,1 %, 6,4 % y 8,7 % respectivamente. Por otro lado, valores mínimos de temperatura se mostraron en el siguiente orden: testigo sin malla agrícola, malla perla, malla roja y malla aluminizada (Figura 3), con diferencias porcentuales por parte de la malla perla de 0,8 %, de malla roja de 2,3 % y malla aluminizada con 3,7 % en relación al testigo.

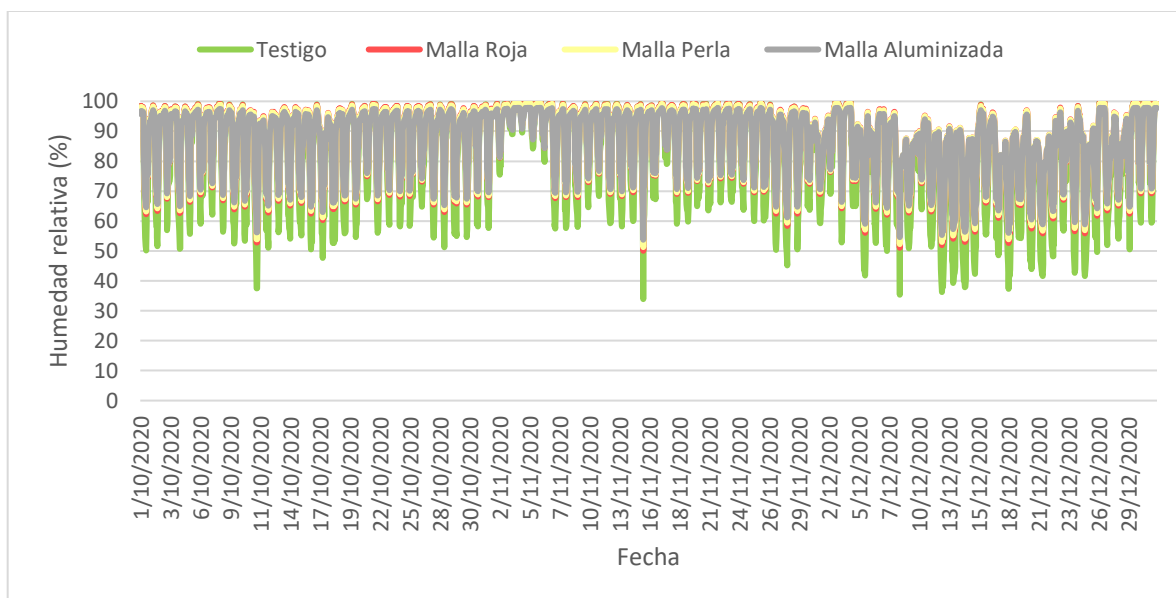


**Figura 3.** Temperatura (C°) registrada en el periodo, medida a 2 m del suelo entre el dosel de plantas de pepino (*Cucumis sativus*), bajo la influencia de tres tipos de mallas agrícolas (perla, rojo y aluminizada) y un testigo sin malla, bajo condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.

### 1.2 Humedad Relativa

Se obtuvieron valores mayores de humedad relativa en los meses de octubre y noviembre por parte del testigo, seguido por los tratamientos con color rojo, perla y aluminio con valores correspondientes de 0,1 %, 0,6 % y 2,1 % de diferencia respecto al testigo. Durante el mes de diciembre se mostraron porcentajes con mayor humedad relativa por parte del tratamiento con malla roja, seguido por la malla perla, testigo y aluminizada (0,3 %, 1,2 % y 1,5 % de diferencia respecto a la malla roja respectivamente) (Figura 4). Porcentajes mínimos de humedad relativa se presentaron por el testigo sin malla, posteriormente por las mallas de color rojo con 22,3 %, perla con 24,2 % y aluminizada con 27 % de diferencia con el testigo (Figura 4).

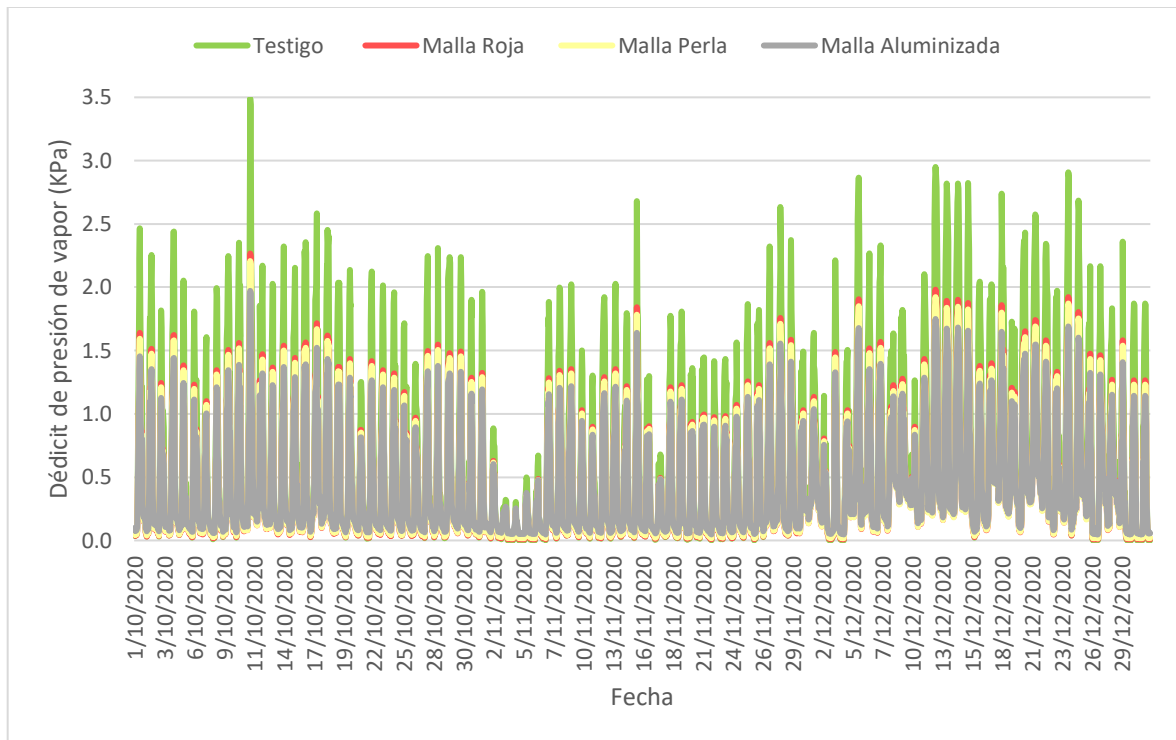




**Figura 4.** Humedad relativa (%) registrada en el periodo, medida a 2 m del suelo entre el dosel de plantas de pepino (*Cucumis sativus*), bajo la influencia de tres tipos de mallas agrícolas (perla, rojo y aluminizada) y un testigo sin malla, bajo condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.

### 1.3 Déficit de Presión de Vapor

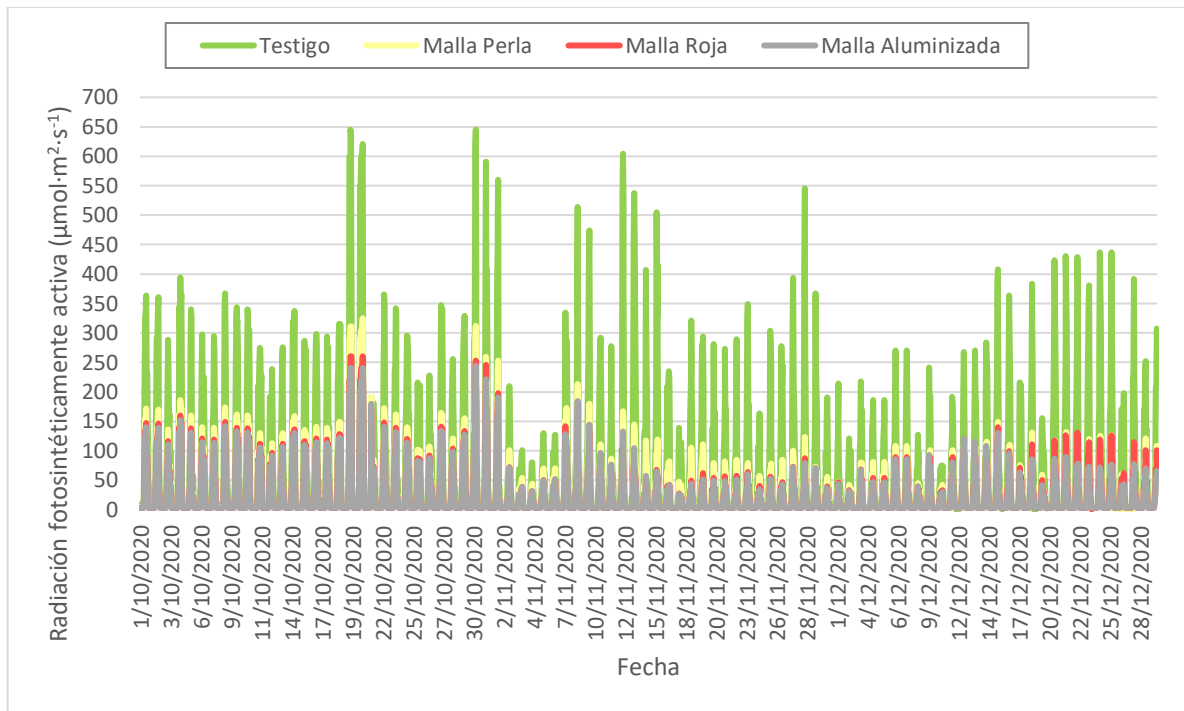
Durante el ciclo del cultivo se identificaron valores mayores de déficit de presión de vapor por el testigo, seguido por los tratamientos con malla color roja con 32,7 %, perla con 34,6 % y aluminizada con 40,2 % de diferencia en relación al testigo. Valores mínimos de DPV durante los meses de octubre y noviembre fueron mostrados por el testigo, seguido de los tratamientos con malla roja, perla y aluminizada con diferencias porcentuales con el testigo de 50 %, 107,1 % y 342,9 % respectivamente. Durante el mes de diciembre se observaron valores mínimos por parte de la malla roja, sucesivamente la malla perla, el testigo y la malla aluminizada (7,4 %, 11 % y 63 % de diferencia respecto a la malla roja respectivamente).



**Figura 5.** Déficit de presión de vapor (DPV) medido en KPa y registrada en el periodo, en el dosel de plantas de pepino (*Cucumis sativus*), bajo la influencia de tres tipos de mallas agrícolas (perla, rojo y aluminizada) y un testigo sin malla, bajo condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.

#### **1.4 Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR)**

Los datos de radiación PAR mostraron valores mayores registrados por el testigo (sin malla agrícola) durante los tres meses de toma de datos, seguido por los tratamientos con malla perla, malla roja y malla aluminizada. Esta última fue la que evitó en mayor medida el paso de radiación PAR (Figura 6). Se registraron disminuciones promedio de la radiación PAR del 58 % para la malla perla, 65 % para la malla roja y 66 % para la malla aluminizada respecto al testigo, siendo estos valores mayores al 50 % de sombreo teórico presentado por las mallas.



**Figura 6.** Radiación fotosintéticamente activa (PAR) ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ) registrada en el periodo, medida a 25 cm del suelo entre el dosel de plantas de pepino (*Cucumis sativus*), bajo la influencia de tres tipos de mallas agrícolas (perla, rojo y aluminizada) y un testigo sin malla, bajo condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.

### 1.5 Calidad de la Luz

Se obtuvo una mayor radiación fotosintéticamente activa en el testigo, seguido por el tratamiento con malla perla, malla roja y malla aluminizada (Cuadro 4), con disminuciones promedio por parte de los tratamientos de 48,5 %, 53,9 % y 71 % respecto al testigo. La mayor radiación global se registró también en el testigo, con diferencias de 34,9 % el tratamiento con malla perla, 45,2 % malla roja y 48,7 % malla aluminizada con el testigo (Cuadro 4). Por otro lado, la luz color rojo, mostró valores mayores en el testigo, seguido por el tratamiento con una disminución del 29,1 % respecto al testigo la malla

color rojo, la malla perla con 36,7 % y 55,4 % la malla tipo aluminizada (Cuadro 4). Así mismo la luz rojo lejano, mostró también valores mayores en el testigo, seguido por el tratamiento rojo, perla y aluminizada (Cuadro 4), con diferencias porcentuales respecto al testigo de 13,7 %, 20,5 % y 45,2 % respectivamente. En la relación de rojo : rojo lejano el valor mayor se observó en el testigo, seguido de la malla aluminizada, malla roja y con menor valor la malla perla, con disminuciones respecto al testigo de 15,9 %, 16,5 % y 17,1 % cada tratamiento mencionado (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Mediciones puntuales de radiación fotosintéticamente activa (PAR), radiación global, luz rojo, rojo lejano y relación rojo : rojo lejano (R:RL), en un día de plena exposición solar, bajo mallas agrícolas tipo aluminizada, perla, rojo y un testigo (sin malla agrícola) dentro de un invernadero y su referencia con mediciones fuera del invernadero (exterior), en Alajuela, Costa Rica, 2020.

Tipo de malla	PAR ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ )	Global ( $\text{W}\cdot\text{m}^2$ )	Rojo ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ )	Rojo Lejano ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ )	Relación R:RL
Aluminizada	326,45	319,55	46,835	47,745	1,0085
Perla	579,85	405,65	66,51	69,29	0,99475
Roja	518,45	341	74,455	75,21	1,00155
Testigo	1125	622,8	105,08	87,175	1,1995
Exterior	1672	854,9	173,2	139,1	1,267

## 2. Variables Morfofisiológicas

### 2.1 Altura de Planta

Se obtuvieron mayores valores promedio en altura de planta a los 32 DDT con los tratamientos AJ, PJ y RJ en comparación con el tratamiento testigo TJ (con 17,1 %, 15,4 %

y 20 % más altura que el testigo respectivamente) y con los tratamientos AL, PL y RL contra el testigo TL (con 23,5 %, 25 % y 31,8 % más altura respectivamente), con diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre medias de los tratamientos AJ - TJ, PJ - TJ, RJ - TJ, AL - TL, PL - TL y RL - TL (Cuadro 5). Del mismo modo, a los 56 DDT, se presentaron diferencias significativas en los valores de diferencia de medias entre los tratamientos AL - TL y RL - TL, siendo los tratamientos AL y RL los de mayor altura, en contraste con el tratamiento TL (Cuadro 5) con un aumento de 45,5 % y 34,4 % respectivamente.

**Cuadro 5.** Medias de altura de planta (cm) según el tratamiento y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p, a los 32 y 56 días después del trasplante (DDT), en plantas de pepino (*Cucumis sativus*) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.

DDT	Valores de medias		Comparaciones		
	Tratamiento*	Altura (cm)	Tratamientos	Diferencia de medias	Valor p**
32			AJ – PJ	2,38	0,9704
	AJ	205	AJ - RJ	-5,50	0,7432
	PJ	202	AJ - TJ	29,75	<b>0,0008</b>
	RJ	210	PJ - RJ	-7,88	0,4922
	TJ	175	PJ - TJ	27,38	<b>0,0015</b>
			RJ - TJ	35,25	<b>0,0002</b>
			AL – PL	-2,38	0,9704
	AL	163	AL - RL	-11,00	0,2312
	PL	165	AL - TL	31,38	<b>0,0005</b>
	RL	174	PL - RL	-8,62	0,4184
		PL - TL	33,75	<b>0,0003</b>	
		RL - TL	42,38	<b>&lt;,0001</b>	
56			AJ – PJ	-11,62	0,9453
	AJ	366	AJ - RJ	-3,62	0,9981
	PJ	377	AJ - TJ	10,25	0,9613
	RJ	369	PJ - RJ	8,00	0,9808
	TJ	355	PJ - TJ	21,88	0,7346
			RJ - TJ	13,88	0,9120
			AL – PL	53,50	0,1052
	AL	304	AL - RL	23,12	0,7013
	PL	250	AL - TL	95,00	<b>0,0035</b>
	RL	281	PL - RL	-30,38	0,5037
		PL - TL	41,50	0,2555	
		RL - TL	71,88	<b>0,0234</b>	

Nota: \*AJ= malla aluminizada/variedad Javan, PJ= malla perla/variedad Javan, RJ= malla roja/variedad Javan, TJ= testigo/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Larino, PL= malla perla/variedad Larino, RL= malla roja/variedad Larino, TL= testigo/variedad Larino, AL= malla aluminizada/variedad Larino. \*\*Valores en negrita muestran diferencias significativas al 95 % de confianza.

## ***2.2 Distancia Entrenudos***

Se encontraron a los 32 DDT mayores valores de media en el tratamiento RJ en comparación con TJ, presentando diferencias significativas entre medias ( $P < 0,05$ ) con una diferencia porcentuales de 26,8 % respecto a TJ. Lo mismo ocurre con el tratamiento RL a los 32 DDT, que mostró una media mayor de distancia entrenudos en comparación con TL y AL, con valores de  $P < 0,05$  en las diferencias entre medias (AL - RL y RL - TL) y diferencias porcentuales de 28,9 % TL y 19,1 % AL respecto a RL. A los 56 DDT no se observó diferencia estadística significativa en ninguno de los tratamientos de mallas en ninguna de las variedades (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Medias de distancia entrenudos (cm) según el tratamiento y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p, a los 32 y 56 días después del trasplante, en plantas de pepino (*Cucumis sativus*) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.

DDT	Valores de medias		Comparaciones			
	Tratamiento*	Distancia entrenudos (cm)	Tratamientos	Diferencia de medias	Valor p **	
32			AJ – PJ	-0,375	0,9967	
	AJ	33,9	AJ - RJ	-3,062	0,3742	
	PJ	34,2	AJ - TJ	4,750	0,0954	
	RJ	36,9	PJ - RJ	-2,688	0,4794	
	TJ	29,1	PJ - TJ	5,125	0,0682	
			RJ - TJ	7,812	<b>0,0059</b>	
			AL – PL	-2,000	0,6951	
	AL	24,6	AL - RL	-5,750	<b>0,0386</b>	
	PL	26,6	AL - TL	3,000	0,3907	
	RL	30,4	PL - RL	-3,750	0,2230	
	TL	21,6	PL - TL	5,000	0,0763	
			RL - TL	8,750	<b>0,0026</b>	
	56			AJ – PJ	0,375	0,9998
		AJ	29,6	AJ - RJ	4,000	0,8082
PJ		29,2	AJ - TJ	-2,000	0,9680	
RJ		25,6	PJ - RJ	3,625	0,8476	
TJ		31,6	PJ - TJ	-2,375	0,9487	
			RJ - TJ	-6,000	0,5686	
			AL – PL	-0,250	0,9999	
AL		31,8	AL - RL	-4,500	0,7512	
PL		32,0	AL - TL	5,500	0,6296	
RL		36,2	PL - RL	-4,250	0,7802	
TL		26,2	PL - TL	5,750	0,5989	
			RL - TL	10,000	0,2044	

Nota: \*AJ= malla aluminizada/variedad Javan, PJ= malla perla/variedad Javan, RJ= malla roja/variedad Javan, TJ= testigo/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Larino, PL= malla perla/variedad Larino, RL= malla



roja/variedad Larino, TL= testigo/variedad Larino, AL= malla aluminizada/variedad Larino. \*\*Valores en negrita muestran diferencias significativas al 95 % de confianza.

### **2.3 Fotosíntesis**

Se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) a los 42 DDT en las diferencias entre medias de los tratamientos AJ - PJ y AJ - TJ, con mayores valores de media de asimilación de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol}_{\text{CO}_2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}$ ) en los tratamientos PJ y TJ, en comparación con AJ, teniendo PJ y TJ 103,6 % y 147,9 % más actividad fotosintética que AJ respectivamente. Asimismo, a los 42 DDT, se encontraron valores con significancia en las diferencias entre medias de los tratamientos AL - TL, PL - TL y RL - TL, siendo la media con mayor asimilación de  $\text{CO}_2$  la del tratamiento TL, en comparación con AL, PL y RL (Cuadro 7), presentando TL 58,1 %, 41,9 % y 57,4% más fotosíntesis que los respectivos tratamientos. A los 63 DDT, se observó un mayor valor de asimilación de  $\text{CO}_2$  en TL en contraste con AL, con un valor p menor a 0,05 en la diferencia entre medias de dichos tratamientos (Cuadro 7) y 58,5 % más actividad fotosintética por parte de TL.

**Cuadro 7.** Medias de asimilación de CO<sub>2</sub> o fotosíntesis ( $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}$ ) según el tratamiento y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p, a los 42 y 63 días después del trasplante, en plantas de pepino (*Cucumis sativus*) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.

DDT	Valores de medias		Comparaciones		
	Tratamiento*	Fotosíntesis ( $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}$ )	Tratamientos	Diferencia de medias	Valor p**
42			AJ - PJ	-6,565	<b>0,0318</b>
	AJ	6,34	AJ - RJ	-4,293	0,1934
	PJ	12,91	AJ - TJ	-9,375	<b>0,0034</b>
	RJ	10,64	PJ - RJ	2,272	0,6673
	TJ	15,72	PJ - TJ	-2,810	0,5122
			RJ - TJ	-5,081	0,1056
			AL - PL	-3,464	0,3456
	AL	8,96	AL - RL	-0,144	0,9999
	PL	12,43	AL - TL	-12,435	<b>0,0004</b>
	RL	9,11	PL - RL	3,320	0,3790
		PL - TL	-8,971	<b>0,0047</b>	
		RL - TL	-12,291	<b>0,0004</b>	
63			AJ - PJ	-3,31	0,6899
	AJ	4,33	AJ - RJ	-1,75	0,9327
	PJ	7,65	AJ - TJ	6,45	0,2048
	RJ	6,08	PJ - RJ	1,56	0,9504
	TJ	10,79	PJ - TJ	-3,14	0,7217
			RJ - TJ	-4,70	0,4341
			AL - PL	-5,11	0,3690
	AL	7,07	AL - RL	-2,29	0,8659
	PL	12,18	AL - TL	-9,96	<b>0,0370</b>
	RL	9,35	PL - RL	2,83	0,7785
		PL - TL	-4,84	0,4116	
		RL - TL	-7,67	0,1146	

Nota: \*AJ= malla aluminizada/variedad Javan, PJ= malla perla/variedad Javan, RJ= malla roja/variedad Javan, TJ= testigo/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Larino, PL= malla perla/variedad Larino, RL= malla roja/variedad Larino, TL= testigo/variedad Larino, AL= malla aluminizada/variedad Larino. \*\*Valores en negrita muestran diferencias significativas al 95 % de confianza.

### **3. Variables de Rendimiento**

#### **3.1 Rendimiento Total**

Las diferencias entre medias que presentaron valores con significancia menor a 0,05 en el valor p fueron AJ - PJ, AJ - TJ y RJ - TJ. El mayor rendimiento total acumulado se obtuvo en el tratamiento TJ, con un 28,9 % y 24,8 % más de rendimiento que AJ y RJ, respectivamente. En el caso del tratamiento PJ, se presentó un rendimiento 28 % mayor en comparación con AJ (Cuadro 8). Por otro lado, para la variedad Larino, se presentaron diferencias significativas entre medias de los tratamientos AL - TL, con un valor de media menor en AL y un mayor valor para TL (Cuadro 8), para una diferencia de medias porcentual del 29,5 % por parte de TL.

**Cuadro 8.** Medias de rendimiento total (t/ha) según el tratamiento y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p, en plantas de pepino (*Cucumis sativus*) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.

Valores de medias		Comparaciones		
Tratamiento*	Rendimiento (t/ha)	Tratamientos	Diferencia de medias	Valor p **
AJ	88,0	AJ – PJ	-34,29	<b>0,0295</b>
PJ	122,2	AJ - RJ	-5,00	0,9510
RJ	93,0	AJ - TJ	-35,78	<b>0,0239</b>
TJ	123,7	PJ - RJ	29,29	0,0612
		PJ - TJ	-1,49	0,9985
		RJ - TJ	-30,78	<b>0,0492</b>
AL	83,6	AL – PL	-20,08	0,2319
PL	103,6	AL - RL	-13,10	0,5488
RL	96,7	AL - TL	-34,95	<b>0,0269</b>
TL	118,5	PL - RL	6,98	0,8823
		PL - TL	-14,87	0,4521
		RL – TL	-21,85	0,1812

Nota: \*AJ= malla aluminizada/variedad Javan, PJ= malla perla/variedad Javan, RJ= malla roja/variedad Javan, TJ= testigo/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Larino, PL= malla perla/variedad Larino, RL= malla roja/variedad Larino, TL= testigo/variedad Larino, AL= malla aluminizada/variedad Larino. \*\*Valores en negrita muestran diferencias significativas al 95 % de confianza.

### 3.2 Número de Frutos Totales

Para esta variable, aunque hay una tendencia a presentarse mayor número de frutos en los tratamientos testigo y bajo malla de color perla (en ambas variedades), no se encontraron valores con significancia estadística en ninguna diferencia entre medias en las posibles combinaciones de los tratamientos. Los resultados correspondientes se muestran en el Anexo 3.

### ***3.3 Rendimiento Según Calidad***

Se obtuvieron valores con diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) para la variable de rendimiento según la categoría de calidad comercial en la diferencia de medias de los tratamientos. Así, en la comparación AL - TL, se presentó una diferencia porcentual de 30,6 % favorable a la media del testigo TL (Cuadro 9). Para la categoría de calidad no comercial, se encontraron valores de media mayores y con significancia (valor p menor a 0,05) en el tratamiento TJ, en comparación con AJ y PJ. En este caso, las diferencias porcentuales de TJ en comparación con AJ y PJ fueron de 48,8 % y 28,5 % respectivamente. En la categoría de calidad deforme, no se encontraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Medias de rendimiento (t/ha) según la categoría de calidad (comercial, no comercial o deforme) y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p, en plantas de pepino (*Cucumis sativus*) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.

Categoría de calidad	Valores de medias		Comparaciones		
	Tratamiento*	Rendimiento (t/ha)	Tratamientos	Diferencia de medias	Valor p**
Comercial			AJ - PJ	-25,65	0,0985
	AJ	69,7	AJ - RJ	2,69	0,9912
	PJ	95,3	AJ - TJ	-19,32	0,2471
	RJ	67,0	PJ - RJ	28,34	0,0659
	TJ	89,0	PJ - TJ	6,34	0,9041
			RJ - TJ	-22,00	0,1686
			AL - PL	-20,82	0,1999
	AL	78,5	AL - RL	-13,88	0,4930
	PL	99,3	AL - TL	-34,61	<b>0,0261</b>
	RL	92,4	PL - RL	6,94	0,8793
		PL - TL	-13,79	0,4983	
		RL - TL	-20,73	0,2026	
No comercial			AJ - PJ	-6,216	0,1640
	AJ	15,66	AJ - RJ	-6,562	0,1368
	PJ	21,88	AJ - TJ	-14,943	<b>0,0022</b>
	RJ	22,22	PJ - RJ	-0,347	0,9991
	TJ	30,60	PJ - TJ	-8,727	<b>0,0433</b>
			RJ - TJ	-8,380	0,0520
			AL - PL	0,399	0,9987
	AL	1,46	AL - RL	0,280	0,9995
	PL	1,06	AL - TL	-0,126	1,0000
	RL	1,18	PL - RL	-0,118	1,0000
		PL - TL	-0,525	0,9970	
		RL - TL	-0,407	0,9986	
Deforme			AJ - PJ	-2,422	0,7149
	AJ	2,59	AJ - RJ	-1,128	0,9569
	PJ	5,02	AJ - TJ	-1,519	0,9045
	RJ	3,72	PJ - RJ	1,294	0,9374
	TJ	4,11	PJ - TJ	0,903	0,9769
			RJ - TJ	-0,391	0,9980
			AL - PL	0,341	0,9987
	AL	3,59	AL - RL	0,499	0,9959
	PL	3,25	AL - TL	-0,214	0,9997
	RL	3,10	PL - RL	0,157	0,9999
		TL	3,81		

PL - TL	-0,555	0,9944
RL - TL	-0,712	0,9883

---

Nota: \*AJ= malla aluminizada/variedad Javan, PJ= malla perla/variedad Javan, RJ= malla roja/variedad Javan, TJ= testigo/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Larino, PL= malla perla/variedad Larino, RL= malla roja/variedad Larino, TL= testigo/variedad Larino, AL= malla aluminizada/variedad Larino. \*\*Valores en negrita muestran diferencias significativas al 95 % de confianza.

### ***3.4 Número de Frutos Según Calidad***

Para la variable número de frutos por planta según la categoría de calidad (comercial, no comercial o deforme), no se encontraron diferencias significativas con valores de  $p < 0,05$  en las diferencias entre medias de los tratamientos (Anexo 4).

## Discusión

### 1. Variables Microclimáticas

#### 1.1 *Temperatura*

La mayor variación en la temperatura fue en el testigo sin malla, debido a la alta radiación solar incidente, en comparación con los tratamientos con malla que poseían 50 % de sombra. En el caso de la malla aluminizada se presentó menor variación en las temperaturas diarias y nocturnas. Así, con este tipo de malla se registraron los menores valores máximos y los mayores valores mínimos entre los tratamientos y el testigo. Esto se debe a que la superficie aluminizada favorece la reflexión de luz, lo que genera menor temperatura diurna bajo su sombra, al tiempo que se conserva la energía en horas sin radiación (Ferreira et al., 2014). La malla roja y perla lograron también disminuir la temperatura, siendo la malla perla la de mayor reducción en comparación con la malla roja. Dichos resultados concuerdan con los obtenidos por Arthurs et al. (2013), Márquez Quiroz et al. (2014) y Umanzor et al. (2017).

En general, la utilización de mallas agrícolas generó una disminución en los picos de temperatura debido a que las mismas generan una disminución en la radiación solar incidente (Stamps, 2009), lo cual evita la posible aparición de desórdenes fisiológicos, aborto floral, caída frutos y pérdidas en rendimientos y calidades (Ayala-Tafoya, Sánchez-Madrid, et al., 2015; Díaz-Pérez, 2014). En cultivos como melón y pepino las altas temperaturas favorecen el aborto de flores y la esterilidad del polen, síntomas comunes de estrés por calor (Wehner et al., 2020).



## **1.2 Humedad Relativa**

Conforme lo esperado, y asociado a las tendencias vistas para la temperatura, los porcentajes mínimos de humedad relativa fueron obtenidos por el testigo sin malla (Figura 4), seguido del tratamiento con malla roja, perla y por último la malla aluminizada. Resultados similares de humedad relativa mínima fueron obtenidos también por Ayala-Tafoya, Yáñez-Juárez, et al. (2015) utilizando mallas semejantes. Aquellas mallas agrícolas bajo las cuales se presentaron los valores máximos de temperatura (Figura 3) mostraron menor humedad relativa, ya que al aumentar la temperatura, el vapor de agua presente en el aire disminuye según el tipo de malla agrícola empleada. Estos desbalances en la humedad relativa pueden llegar a provocar inconvenientes en el crecimiento, expansión celular, turgencia celular, transpiración, absorción de nutrientes, viabilidad polínica y de fecundación, así como también en la disminución de cambios de temperatura (Lorenzo, 2012).

Por otro lado, la humedad relativa máxima se obtuvo en el testigo y la malla roja, seguido por la malla agrícola color perla y aluminizada (Figura 4). Dichos valores aumentan debido al vapor de agua proveniente del sustrato y principalmente de la transpiración del cultivo (Martínez-Gutiérrez et al., 2016; Stamps, 2009) al aumentar la radiación incidente.

## **1.3 Déficit de Presión de Vapor**

Los mayores valores de DPV fueron alcanzados por el testigo (Figura 5), debido a que al implementar una malla agrícola, la humedad relativa y temperaturas disminuyeron (Smit et al., 2008). Resultados similares, fueron obtenidos también por Kittas et al. (2009) y J. Tanny et al. (2009). En estudios realizados por Gruda et al. (2017), demostraron que

aumentos en el déficit de presión de vapor afectan los procesos fotosintéticos y que cuando disminuye se reduce el rendimiento y la calidad de la fruta.

#### **1.4 Radiación Fotosintéticamente Activa**

Según los resultados de la Figura 6, la radiación fotosintéticamente activa disminuyó indistintamente del tipo de malla agrícola utilizada; durante los tres meses de monitoreo, presentando la malla aluminizada los menores valores. Esto fue debido a una mayor reflexión de luz, mientras que en los colores perla y roja las mallas permitieron el ingreso de mayor radiación PAR.

La composición en tramas aluminizadas de esas mallas termoreflectoras, hacen que la radiación incidente se refleje sobre la malla y se dispersen todas las longitudes de onda. Por su parte, las mallas coloreadas, dependiendo del color, absorben o reflejan ciertas longitudes de onda del espectro de luz solar, permitiendo la transmisividad selectiva de ciertas longitudes de onda del espectro solar (Ayala-Tafoya et al., 2011; Guiselini et al., 2004). Resultados similares fueron encontrados por Martínez-Gutiérrez et al. (2016), donde el testigo sin malla agrícola presentó mayor PAR, seguidos por la malla perla y roja.

En cualquier caso, tal y como lo reportan Arthurs et al. (2013) y Flores et al. (2020) se sabe que la radiación PAR disminuye al utilizarse cualquier tipo de malla agrícola. Al disminuir la radiación se reduce la fotosíntesis, la transpiración y el fotoperiodo lo cual consecuentemente afecta la floración y el crecimiento de tejidos (Guiselini et al., 2010). Por otra parte, aumentos en la radiación PAR mejora la fotosíntesis, la división celular y el área foliar en plantas de pepino, así como también, disminuye la longitud entrenudos (Kahlen & Stützel, 2011a). Sin embargo, si ocurre un aumento excesivo de la radiación,

puede llegar a generarse quemaduras y manchas sobre frutos y láminas foliares (Espinoza Morales, 2010).

El presente estudio se realizó durante los meses de época lluviosa en Costa Rica, época en que se reduce la radiación PAR incidente sobre el cultivo, debido a la nubosidad, menos horas luz y mayores precipitaciones comunes. Arthurs et al. (2013), indican que dependiendo de la estación en la que se realicen las mediciones los valores de PAR varían, mostrando reducciones durante los meses de setiembre, octubre, noviembre y diciembre en los países de latitud norte como el nuestro.

### **1.5 Calidad de la Luz**

De acuerdo con los resultados observados en el Cuadro 4, se encontró que la radiación PAR medida puntualmente, coincide con el comportamiento de las mediciones PAR medidas continuamente durante los meses de octubre, noviembre y diciembre (Figura 6). Resultados similares en relación a valores de PAR obtenidos en el Cuadro 4, fueron obtenidos por Umanzor et al. (2017), en el que el mayor valor fue alcanzado por el tratamiento sin malla, seguido por las mallas perla y roja. La disminución de PAR por la malla roja es debido a que esta reduce las longitudes de onda menores a 580 nm, afectando la cantidad total de radiación solar PAR incidente; mientras que con la malla perla no disminuye dicha zona del espectro de luz (Oren-Shamir et al., 2001; Umanzor et al., 2017).

La malla perla fue la que presentó las menores disminuciones de radiación PAR y global entre las mallas agrícolas (Cuadro 4), debido a su coloración neutra o traslúcida, la cual interfiere en menos escala con el filtrado y entrada de la luz. Esto permite el ingreso de longitudes de onda con un efecto final de menor disminución en la radiación PAR y global, en comparación con mallas coloreadas (Romero-Gámez, Suárez-Rey, Castilla, et al., 2012).

Por otro lado, las mallas del tipo termorefllectoras o aluminizadas presentaron los valores menores en radiación PAR, global, luz roja y rojo lejano, debido a su capacidad de reflexión de luz que evita el ingreso de la misma a través de la malla (Ferreira et al., 2014). De forma similar, al presente estudio, Guiselini et al. (2010), obtuvieron de que al integrar un ambiente protegido junto con una malla termoreflectiva, se reduce la radiación solar global incidente.

La calidad o la cantidad de luz dentro de un determinado rango de longitud de onda, es percibida por los fotoreceptores (fitocromos), que además de participar en procesos fotosintéticos, influyen en las respuestas morfológicas y fisiológicas vitales como la fotomorfogénesis, transpiración y transporte de agua, respondiendo al espectro de luz emitido (Jofré, 2016; Rizzo Zaldumbide, 2020). Dos componentes para la medición de calidad de la luz son la luz roja (600 – 700 nm) y la luz rojo lejano (700 – 800 nm), debido a que modificaciones de estas dos variables, ocasionan las respuestas mencionadas anteriormente (Jofré, 2016).

Los mayores valores de luz roja y rojo lejano entre las mallas agrícolas fueron obtenidos por la malla de color rojo y los menores en la malla de tipo aluminizada (Cuadro 4). Lo anterior se explica porque, las mallas rojas poseen mayor transmisión de luz a partir de los 600 nm, lo cual aumenta la cantidad de rojo y rojo lejano (Arthurs et al., 2013; Flores et al., 2020). En este mismo sentido, las mallas perla y aluminizada no llegan a modificar la composición del espectro de luz visible (Arthurs et al., 2013; Ayala-Tafoya et al., 2011).

Las mallas roja y perla presentaron los valores menores en la relación rojo : rojo lejano (Cuadro 4), esto debido a que la luz rojo lejano es transmitida en mayor cantidad

dentro de esta relación; dichos resultados fueron también obtenidos por Ayala-Tafoya, Yáñez-Juárez, et al. (2015).

## **2. Variables Morfofisiológicas**

### **2.1 *Altura de Planta***

Los valores de mayor altura de planta se presentaron en los tratamientos con malla agrícola, contrario a los que sucedió en el testigo sin malla (Cuadro 5). Un efecto similar se observó en plantas de tomate tipo Cherry con mallas de color azul, rojo y perla (Márquez Quiroz et al., 2014); en plantas de pimiento morrón al emplear mallas de color verde, roja, beige y negra (Ayala-Tafoya, Sánchez-Madrid, et al., 2015) y en plantas de pepino al utilizar mallas agrícolas de color perla y roja (Ayala-Tafoya, Yáñez-Juárez, et al., 2015). Este proceso de elongación o alargamiento de tallo es debido a la actividad de los fitocromos y criptocromos, ya que los primeros actúan sobre las respuestas de las plantas sobre la luz roja, la luz roja lejano y la luz azul y los criptocromos con la luz UV-A y la luz azul. Los fitocromos PhyA y PhyB y el criptocromo Cry1 están relacionados con la regulación de giberelinas, las cuales actúan a su vez sobre la elongación vegetal (Ayala-Tafoya, Yáñez-Juárez, et al., 2015).

Según el Cuadro 4, los tratamientos con malla agrícola respecto al testigo, mostraron menor relación rojo : rojo lejano, ya que transmitieron más luz rojo lejano que luz roja, por lo que al aumentarse la luz rojo lejano, lo cual desencadenó procesos fisiológicos de elongación (Ballaré, 2009). Esto debido a que la luz rojo lejano inactiva al fitocromo B (PhyB), ya que convierte la forma Pfr del fitocromo a la forma Pr. Lo anterior desencadena la activación de factores de transcripción, genes promotores del crecimiento, auxinas y

giberelinas, factores que dan como resultado un aumento en el crecimiento de la planta. Estos son mecanismos de advertencia temprana de presencia o proximidad de vegetación colindante, desarrollados por las plantas con el fin de evitar sombra (Franklin, 2008).

## ***2.2 Distancia Entrenudos***

Los entrenudos más largos se presentaron a los 32 DDT en los tratamientos con malla roja (Cuadro 6). Esto probablemente debido a que la malla de color rojo, presenta una mayor transmitancia de radiación a partir de los 590 nm (luz amarilla y roja) y descensos en la intensidad de radiación en las longitudes de onda cercanas de los 400 nm a los 590 nm, valores relacionados al color azul y verde del espectro de luz (Flores et al., 2020). La luz azul está relacionada con la longitud de los entrenudos y la altura de las plantas, puesto que al disminuir la luz azul se llega a aumentar la distancia entrenudos (Dougher & Bugbee, 2004; Kahlen & Stützel, 2011a).

Otro factor a tomar en cuenta es la relación rojo : rojo lejano. Como se observa en el Cuadro 4, se muestran valores mayores en los tratamientos sin malla (testigo) y aluminizado, obteniéndose un menor valor en el tratamiento con malla roja. Al respecto Kahlen & Stützel (2011b), Xu et al. (2020) y Zhong et al. (2020) indican que al reducir la relación rojo : rojo lejano, se incentiva la elongación de entrenudos.

## ***2.3 Fotosíntesis***

La fotosíntesis medida como asimilación de CO<sub>2</sub>, está relacionada a la cantidad de luz que las plantas reciben, por lo que al aumentar la radiación PAR, se esperaría una mayor asimilación de CO<sub>2</sub>. Los tratamientos con mallas agrícolas presentaron menores valores en la radiación fotosintéticamente activa y global en comparación con el testigo

(Cuadro 4), coincidiendo con los valores de asimilación de CO<sub>2</sub> mostrados en el Cuadro 7. Así, el testigo sin malla presentó mayor tasa fotosintética que los tratamientos con malla. Del mismo modo hubo aumento en la fotosíntesis por parte del tratamiento PJ en comparación con el tratamiento AJ a los 42 DDT, debido a que la malla perla fue la que mostró los mayores valores de radiación PAR y global entre las mallas agrícolas (Cuadro 4). La implementación de mallas agrícolas, reduce la intensidad de radiación total y PAR, y dependiendo del color reduce y modifica la calidad de la luz PAR, disminuyendo consecuentemente la actividad fotosintética de las plantas (Romo-Chacón et al., 2007; Smit et al., 2008; Talamini Do Amarante et al., 2007, 2011). Además, las hojas bajo efectos de sombreo comúnmente presentan bajos valores de actividad fotosintética, respiración y concentración de nitrógeno (Smit et al., 2008).

La baja actividad fotosintética por parte de los tratamientos con mallas agrícolas, pudo también estar relacionada al porcentaje de sombreo utilizado en las mallas (50 %) y a la época del año (estación lluviosa), debido al aumento en sombra. Se tiene reportado que la utilización de 30 % de sombra en mallas aumentan la tasa de fotosíntesis neta, caso contrario ocurre al aumentar dicho porcentaje de sombra en diversos cultivos (Díaz-Pérez, 2014; Zhu et al., 2012). Así se dieron las condiciones para un sombreo excesivo que genera una insuficiente absorción de luz por parte del aparato fotosintético (Zhu et al., 2012). Dicha información se confirma, ya que resultados contrarios al presente estudio fueron obtenidos en plantas de pepino donde se presentaron aumentos en la asimilación de CO<sub>2</sub> con la utilización de mallas coloreadas al 30 % de sombra (Ayala-Tafoya et al., 2018; Ayala-Tafoya, Yáñez-Juárez, et al., 2015).

### **3. Variables de Rendimiento**

#### ***3.1 Rendimiento Total***

Se obtuvieron resultados de menor rendimiento total en los tratamientos con mallas agrícolas y mayor rendimiento total en el testigo sin malla agrícola (Cuadro 8), probablemente debido a la reducción de la radiación solar por la implementación de mallas con alto porcentaje de sombreado durante la estación lluviosa. El exceso de sombreado sobre los cultivos, puede llegar a disminuir la actividad fotosintética de las plantas, lo cual afecta directamente la producción y los rendimientos. (Ayala-Tafoya et al., 2018; Díaz-Pérez, 2014; Shahak et al., 2008; Zhu et al., 2012). Según Mattson (2017) y Runkle (2019) para el desarrollo óptimo del cultivo de pepino se necesitan valores mayores a  $15 \text{ mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{día}$ , no obstante en dicho estudio se presentó el valor de  $2,21 \text{ mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{día}$  promedio entre las tres mallas agrícolas empleadas (Anexo 5), reafirmando el déficit lumínico provocado por el sombreado excesivo.

Como indicado con anterioridad, mayores exposiciones de la luz roja, rojo lejano y radiación fotosintéticamente activa, son condiciones que influyen directamente sobre la capacidad fotosintética de las plantas (Santana et al., 2012). El aumento de los rendimientos totales al no emplear mallas agrícolas (Cuadro 8), también se relaciona con los resultados obtenidos en el Cuadro 4, ya que los valores de rojo, rojo lejano y PAR fueron mayores en el testigo sin malla (Cuadro 4) y los tratamientos con mayor fotosíntesis (TJ, PJ y TL) (Cuadro 7) concuerdan con los tratamientos de mayor rendimiento (TJ, PJ y TL) (Cuadro 8).

Los mayores rendimientos obtenidos en esta investigación, fueron coincidentes al comportamiento obtenido en otros estudios al no utilizar mallas agrícolas, por ejemplo, en



cultivos como el arándano (Rodríguez & Morales, 2015), la cebolla verde (Gao et al., 2021) y en pimientos dulces (Santana et al., 2012). Esto indica que las mallas agrícolas son tecnologías que no deben emplearse de formas genérica, sino que deben analizarse las condiciones climáticas de la época y de la región, para corroborar que sean favorables.

Por otro lado, al comparar entre tratamientos con malla agrícola, el cultivo bajo malla color perla presentó mayores rendimientos en comparación al de la malla roja (Cuadro 8). Esto está relacionado a un aumento de la luz PAR en el tratamiento con malla agrícola perla (Cuadro 4), y consecuentemente hubo mayor contenido de clorofila y una mayor actividad fotosintética en la planta (Talamini Do Amarante et al., 2011; Umanzor et al., 2017). Resultados similares fueron reportados en el cultivo de pepino, en el que la implementación de malla perla obtuvo mayores rendimientos que la malla roja (Ayala-Tafoya et al., 2018).

### ***3.2 Rendimiento Según Calidad***

En el presente estudio, la reducción en la cantidad de radiación PAR incidente independientemente del tipo de malla agrícola utilizada debido al porcentaje de sombreo empleado, fue el factor determinante en la disminución del rendimiento y calidad de frutos, ya que el mayor rendimiento comercial y no comercial se obtuvo en el testigo sin malla agrícola (Cuadro 9). Dichos resultados concuerdan con lo encontrado en plantas de pimentón, que presentaron disminuciones en los rendimientos en la calidad comerciable, al implementar porcentajes de sombra mayores al 35 % (Díaz-Pérez, 2014) y presentaron descensos del 34,6 % en el rendimiento de calidad comerciable al pasar de utilizar un porcentaje de sombreo del 30 % al 70 % (Zhu et al., 2012).

Al utilizar malla aluminizada con 50 % de sombreo, se presentaron los menores valores de rendimiento comercial y no comercial (Cuadro 9), debido a la poca transmisividad de luz (Cuadro 4). Esto tiene relación directa con la cantidad de radiación total y PAR de la malla aluminizada. Caso similar obtenido en plantas de tomate, en el que se obtuvieron los menores valores de rendimiento en calidad comerciable con la malla de tipo aluminizada al 50 % (Ayala-Tafoya et al., 2011).

Por otra parte, casos favorables al empleo de las mallas también han sido descritos, donde al utilizar mallas fotoselectivas sobre plantas de pimiento morrón, se obtuvieron mayores rendimientos de calidad comerciable (exportable) y valores menores sin la utilización de mallas (Ayala-Tafoya, Sánchez-Madrid, et al., 2015). Nuevamente, las condiciones de uso y el rigor con el que se seleccionen las características técnicas de las mallas agrícolas, son las claves que pueden garantizar que el beneficio de esta tecnología se vea reflejado en el aumento de la productividad y calidad de las cosechas.

## Conclusiones

- Las mallas agrícolas tienen efecto directo en el microclima bajo su área de influencia; la malla aluminizada mantiene más estable los máximos y mínimos de temperatura y humedad relativa, al tiempo que reduce en mayor medida la temperatura del ambiente. Las mallas perla y roja también reducen la temperatura durante el día y evitan descensos en la humedad relativa.
- La utilización de mallas fotoselectivas o termorefllectoras utilizadas dentro de un ambiente protegido, generan cambios en la radiación fotosintéticamente activa, radiación global, luz roja, luz rojo lejano y relación rojo : rojo lejano, disminuyendo dichas variables al utilizarse, durante los meses de octubre, noviembre y diciembre en Alajuela, Costa Rica.
- Las respuestas en la morfofisiología de las plantas de pepino al sombreado que proporcionan las mallas se reflejan en el aumento de la altura de la planta, la distancia entrenudos y la reducción en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> que se presenta cuando se emplean mallas. La malla perla fue la que menos restricciones le impuso al paso de la radiación solar y por consiguiente fue donde la disminución de la tasa fotosintética fue menor.
- La productividad alcanzada en ambas variedades de pepino fue limitada por el sombreado excesivo provocado por las mallas agrícolas en la estación lluviosa en la que se trabajó. De las mallas evaluadas, la de color perla fue la que mejor rendimiento alcanzó, siendo comparable su respuesta al testigo sin malla que consistentemente alcanzó la productividad mayor.

- El uso de mallas agrícolas no puede ser generalizado para todas las condiciones. La elección de su utilización debe ser criteriosa al cultivo, zona geográfica y época del año en la que se trabaje, de forma que los resultados demuestren el aprovechamiento de todo el potencial de esta tecnología.

## **Recomendaciones**

- Repetir esta investigación trabajando con mallas agrícolas con porcentajes de sombreado menores al 50 % y condiciones de clima de estación seca.
- Realizar investigaciones similares considerando el porcentaje de sombreado que genera el plástico del invernadero, con el fin de definir el porcentaje de sombra de las mallas agrícolas que se instalen, estando este porcentaje relacionado con la cantidad de luz que necesita el cultivo.
- Considerar el efecto del consumo de agua en cada uno de los tratamientos para generar un valor de uso eficiente del agua y un ajuste en la demanda real de consumo bajo cada malla de color.
- Considerar mediciones de área foliar, peso seco de planta, peso fresco de planta y peso seco de frutos, para ampliar la descripción de las variables y aumentar la información generada.

## Referencias

- Álvarez-Avilés, A., Romo Ayala, F. A., Valenzuela Cornejo, P., Huez López, M. A., López Elías, J., Preciado Flores, F., & Sandoval Fernández, D. (2010). Efecto de las mallas sombras de color sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) “Tajin”, en la costa de Hermosillo. *XXXV Congreso Nacional de La Ciencia Del Suelo, XIII Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas*, 940–943.
- Arthurs, S. P., Stamps, R. H., & Giglia, F. F. (2013). Environmental modification inside photosensitive shadehouses. *HortScience*, 48(8), 975–979.  
<https://doi.org/10.21273/hortsci.48.8.975>
- Ayala-Tafoya, F., Sánchez-Madrid, R., Partida-Ruvalcaba, L., Gilberto Yáñez-Juárez, M., Higinio Ruiz-Espinosa, F., de Jesús Velázquez Alcaraz, T., Valenzuela-López, M., & Martín Parra-Delgado, J. (2015). Producción de pimiento morrón con mallas sombra de colores. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(1), 93–99.
- Ayala-Tafoya, F., Yáñez-Juárez, M. G., López Orona, C. A., Medina López, R., Velázquez Alcaraz, T. de J., & Díaz Valdés, T. (2018). Sunlight transmitted by colored shade nets on photosynthesis and yield of cucumber. *Ciencia Rural*, 48(9), 1–9.  
<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170829>
- Ayala-Tafoya, F., Yáñez-Juárez, M. G., Partida-Ruvalcaba, L., Ruiz-Espinosa, F. H., Campos-García, H., Vásquez-Martínez, O., Velázquez-Alcaraz, T. de J., & Díaz-Valdés, T. (2015). Producción de pepino en ambientes diferenciados por mallas de sombreo fotosselectivo. *ITEA (Informacion Tecnica Económica Agraria)*, 111(1), 3–17. <https://doi.org/10.12706/itea.2015.001>
- Ayala-Tafoya, F., Zatarain-López, D. M., Valenzuela-López, M., Partida-Ruvalcaba, L., &

- Velázquez-Alcaraz, T. D. J. (2011). Crecimiento Y Rendimiento De Tomate En Respuesta a Radiación Solar Transmitida Por Mallas Sombra. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 403–410.
- Ballaré, C. L. (2009). Illuminated behaviour: Phytochrome as a key regulator of light foraging and plant anti-herbivore defence. *Plant, Cell and Environment*, 32(6), 713–725. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01958.x>
- Basave Villalobos, E., Rosales Mata, S., Sigala Rodríguez, J., Cañixto Valencia, C., & Sarmiento López, H. (2017). Cambios morfo-fisiológicos de plántulas de *Prosopis laevigata* ( Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst. ante diferentes ambientes de luz en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(44), 20.
- Brant, R. da S., Pinto, J. E. B. P., Rosa, L. F., Albuquerque, C. J. B., Ferri, P. H., & Corrêa, R. M. (2009). Crescimento, teor e composição do óleo essencial de melissa cultivada sob malhas fotoconversoras. *Ciência Rural*, 39(5), 1401–1407. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782009005000083>
- Caraballo, M. (2017). Utilización de distintos tipo de mallas y saranes, de colores y aluminizados, en la agricultura. *Boletín Del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos*, 11(66), 1–15.
- Chacón-Padilla, K., & Monge-Pérez, J. E. (2016). Evaluación del rendimiento y la calidad de seis genotipos de pepino (*Cucumis sativus* L .) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 323–332.
- CONABIO. (2005). *Cucumis sativus*. In *Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados (SIOVM)* (Proyecto G, pp. 1–27). <https://doi.org/10.1201/9781351072540-53>

- Cruz-Coronado, J. A., & Monge-Pérez, J. E. (2019). Producción de pepinillo (*Cucumis sativus*) en un ambiente protegido: evaluación de dos genotipos. *UNED Research Journal*, *11*(3), 410–417.
- Devlin, P. F., Christie, J. M., & Terry, M. J. (2007). Introduction to photomorphogenesis: Many hands make light work. *Journal of Experimental Botany*, *58*(12), 3071–3077. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm251>
- Díaz-Pérez, J. C. (2014). Bell pepper (*Capsicum annum* 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. <https://doi.org/10.21273/hortsci.49.7.891>
- Díaz-Pérez, J. C., & St. John, K. (2019). Bell pepper (*Capsicum annum* L.) under colored shade nets: plant growth and physiological responses. *HortScience*, *54*(10), 1795–1801. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14233-19>
- Dougher, T. A. O., & Bugbee, B. (2004). Long-term blue light effects on the histology of lettuce and soybean leaves and stems. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *129*(4), 467–472. <https://doi.org/10.21273/jashes.129.4.0467>
- Ducca Jiménez, G. (2005). *Efecto de seis colores de mallas (saranes) en el crecimiento de 20 especies de plantas ornamentales de follaje*. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Escuela de Agronomía.
- Espinoza Morales, J. L. (2010). *Efecto de la radiación transmitida y el color de la malla sombra sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas en la horticultura*. Centro de Investigación en Química Aplicada.
- Fallas Campos, A. (2020). Valoración del uso de casas sombra para la producción hortícola



en la región Huetar Caribe de Costa Rica. In *Universidad de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Escuela de Agronomía.

Ferreira, R. de C., Bezerra, R. de S., & Rosa, J. Q. S. (2014). Effects of light intensity modification by reflective aluminized screenhouse on sweet pepper growth and yield. *Engenharia Agrícola*, 34(4), 626–635. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000400003>

Flores, M., González, E., & Escalona, V. (2020). Filtros Foto-selectivos. *CEPOC (Centro de Estudios Postcosecha)*. Universidad de Chile, 7.

Franklin, K. A. (2008). Shade avoidance. *New Phytologist*, 179(4), 930–944. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02507.x>

Ganelevin, R. (2008). World-wide commercial applications of colored shade nets technology (ChromatiNet®). *Acta Horticulturae*, 770, 199–203. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.770.23>

Gao, S., Liu, X., Liu, Y., Cao, B., Chen, Z., & Xu, K. (2021). The spectral irradiance, growth, photosynthetic characteristics, antioxidant system, and nutritional status of green onion (*Allium fistulosum* L.) grown under different photo-selective nets. *Frontiers in Plant Science*, 12(650471). <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.650471>

Gaurav, A. K., Raju, D. V. S., Janakiram, T., Singh, B., Jain, R., & Krishnan, S. G. (2016). Effect of coloured shade net on production of *Dracaena fragrans*. *Indian Journal of Horticulture*, 73(1), 94–98. <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2016.00025.6>

Germanà, C., Continella, A., & Tribulato, E. (2003). Net shading influence on floral induction on citrus trees. *Acta Horticulturae*, 614(1997), 527–533. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.614.78>

- Gruda, N., Sallaku, G., & Balliu, A. (2017). *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable production in the South East European countries, Part III: Crop technologies, Cucumber* (W. Baudoin, A. Nersisyan, A. Shamilov, A. Hodder, D. Gutierrez, S. De Pascale, S. Nicola, N. Gruda, L. Urban, & J. Tany (eds.); Issue May). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Guiselini, C., Sentelhas, P. C., & Oliveira, R. C. De. (2004). Uso de malhas de sombreamento em ambiente protegido II: efeito sobre a radiação solar global e a fotossinteticamente ativa. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 12(1), 19–26.
- Guiselini, C., Sentelhas, P. C., Pandorfi, H., & Holcman, E. (2010). Manejo da cobertura de ambientes protegidos: Radiação solar e seus efeitos na produção da gérbera Greenhouse cover management: Solar radiation effects on production and quality of a gerbera crop. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(81), 645–652.
- Gutiérrez, M. V, & Jiménez, K. (2007). Crecimiento de nueve especies de palmas ornamentales cultivadas bajo un gradiente de sombra. *Agronomía Costarricense*, 31(1), 9–19.
- Gutiérrez, M. V, Jiménez, K., Soto, D., Alpízar, M., & Chinchilla, C. (2002). El microclima en una casa sombra: palmas y *Zamia* como indicadores de aclimatación a la luz. *Revista de Agricultura Tropical*, 32, 47–60.
- Holcman, E., & Sentelhas, P. C. (2012). Microclimate under different shading screens in greenhouses cultivated with bromeliads. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(8), 858–863. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000800007>
- 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), 53–62. <https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.008>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2014). *Censo Agropecuario 2014*. Pepino. [https://www.inec.cr/censos/censo-agropecuario-2014?keys=pepino&at=All&prd=All&field\\_anio\\_documento\\_value%5Bvalue%5D%5Bdate%5D=](https://www.inec.cr/censos/censo-agropecuario-2014?keys=pepino&at=All&prd=All&field_anio_documento_value%5Bvalue%5D%5Bdate%5D=)
- Jofré, M. F. (2016). *Efecto de la calidad de la luz percibida por fitocromos sobre la morfología y la fisiología de plantas de vid*. Universidad Nacional de Cuyo.
- Kahlen, K., & Stützel, H. (2011a). Modelling photo-modulated internode elongation in growing glasshouse cucumber canopies. *New Phytologist*, 190(3), 697–708. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03617.x>
- Kahlen, K., & Stützel, H. (2011b). Simplification of a light-based model for estimating final internode length in greenhouse cucumber canopies. *Annals of Botany*, 108(6), 1055–1063. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr130>
- Kittas, C., Baille, A., & Giaglaras, P. (1999). Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouses. *Journal of Agricultural and Engineering Research*, 73(4), 341–351. <https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0420>
- Kittas, C., Katsoulas, N., & Baille, A. (2003). Influence of aluminized thermal screens on greenhouse microclimate and night transpiration. *Acta Horticulturae*, 614, 387–392. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.614.58>
- Kittas, C., Rigakis, N., Katsoulas, N., & Bartzanas, T. (2009). Influence of shading screens on microclimate, growth and productivity of tomato. *Acta Horticulturae*, 807, 97–102. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2009.807.10>

- Konopacki, P. J., Treder, W., & Klamkowski, K. (2018). Comparison of vapour pressure deficit patterns during cucumber cultivation in a traditional high PE tunnel greenhouse and a tunnel greenhouse equipped with a heat accumulator. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *16*(1), 1–10. <https://doi.org/10.5424/sjar/2018161-11484>
- Kotilainen, T., Robson, T. M., & Hernández, R. (2018). Light quality characterization under climate screens and shade nets for controlled-environment agriculture. *PLoS ONE*, *13*(6), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199628>
- Leite, C. (2005). Las mallas en el contexto del proyecto de un vivero. *Revista Extra*, 66–73.
- Lima, J. D., Nomura, E. S., Fuzitani, E. J., & Modenese-Gorla Da Silva, S. H. (2010). Variáveis fisiológicas de antúrio cultivado sob diferentes malhas de sombreamento. *Scientia Agraria*, *11*(3), 193. <https://doi.org/10.5380/rsa.v11i3.17232>
- López-Elias, J., Garza Ortega, S., Huez López, M. A., Jiménez León, J., Rueda Puente, E. O., & Murillo Amador, B. (2015). Produccion De Pepino (*Cucumis Sativus* L.) En Funcion De La Densidad De Plantacion En Condiciones De Invernadero. *European Scientific Journal*, *11*(24), 25–36. [http://www.agricultura.uson.mx/publicaciones/indexadas/ESJ\\_Vol.11No.24\(2015\)Articulo.pdf](http://www.agricultura.uson.mx/publicaciones/indexadas/ESJ_Vol.11No.24(2015)Articulo.pdf)
- López-Eliás, J., Rodríguez, J. C., Huez, M. A., Garza, S., Jiménez, J., & Leyva, E. (2011). Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. *IDESIA*, *29*(2), 21–27. <https://doi.org/10.1111/j.1753-6405.1992.tb00030.x>
- Lorenzo, P. (2012). El cultivo en invernadero y su relación con el clima. *Cuadernos De Estudios Agroalimentarios*, 23–44.

- Lv, J., Qi, J., Shi, Q., Shen, D., Zhang, S., Shao, G., Li, H., Sun, Z., Weng, Y., Shang, Y., Gu, X., Li, X., Zhu, X., Zhang, J., van Treuren, R., van Dooijeweert, W., Zhang, Z., & Huang, S. (2012). Genetic Diversity and Population Structure of Cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plos One*, 7(10), 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046919>
- Márquez Quiroz, C., Robledo Torres, V., Benavides Mendoza, A., Vázquez Badillo, M., Cruz Lázaro, E., Estrada Botello, M., & López Espinosa, S. (2014). Uso de mallas sombra: una alternativa para la producción de tomate cherry. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(2), 175–180. <https://doi.org/10.19136/era.a1n2.165>
- Martínez-Gutiérrez, G. A., Nicolás-Santana, L., Ortiz-Hernández, Y. D., & Morales, I. (2016). Crecimiento y contenido de aceite en albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo mallas sombra de colores. 41, 428–432.
- Mattson, N. (2017). How Many Light Fixtures Do I Need? *E-Grow Edible Alert*, 2(5). [www.e-gro.org](http://www.e-gro.org)
- Meisel, L. A., Urbina, D. C., & Pinto, M. E. (2011). Fotorreceptores y Respuestas de Plantas a Señales Lumínicas. *Fisiología Vegetal*, 18, 1–9. [http://www.biouls.cl/librofv/web/pdf\\_word/Capitulo 18.pdf](http://www.biouls.cl/librofv/web/pdf_word/Capitulo%2018.pdf)
- Méndez, C., & Marín Thiele, F. (2015). El concepto de agricultura protegida para el trópico Latinoamericano. *ProNAP Costa Rica*, 9(54), 1–11.
- Milenković, L., Stanojević, J., Cvetković, D., Stanojević, L., Lalević, D., Šunić, L., Fallik, E., & Ilić, Z. S. (2019). New technology in basil production with high essential oil yield and quality. *Industrial Crops and Products*, 140(111718). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111718>
- Murillo, G., Gutiérrez, M. V., & Jiménez, K. (2004). *Calidad de luz y producción de*

*follajes ornamentales en casas de mallas de colores (ChromatiNet®)* (p. 6). Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Universidad de Costa Rica.

Oren-Shamir, M., Gussakovsky, E. E., Shpiegel, E., Nissim-Levi, A., Ratner, K., Ovadia, R., Giller, Y. E., & Shahak, Y. (2001). Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(3), 353–361. <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511377>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). El futuro de la alimentación y la agricultura: Vías alternativas hacia el 2050. Versión resumida. In *El futuro de la agricultura y la alimentación*. <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, F. (2002). *El cultivo protegido en clima mediterráneo*.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, F. (2020). *FAOSTAT*. <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>

Paniagua-Pardo, G., Hernández-Aguilar, C., Rico-Martínez, F., Domínguez-Pacheco, F. A., Martíne-Ortiz, E., & Martínez-González, C. L. (2015). Efecto de la luz led de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Polibotánica*, 0(40), 199–212. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.40.13>

Pérez, L. F. (2017). *Evaluación de una Malla Agrícola Anti-Insectos con Propiedades Antitérmicas en el cultivo de tomate (Solanum lycopersicum)*. Centro de Investigación en Química Aplicada.

- R Core Team. (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Rizzo Zaldumbide, S. V. (2020). *Efecto de diferentes tipos de luz en el crecimiento de plantas in vitro: Revisión de Literatura* [Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6812/1/CPA-2020-T094.pdf>
- Rodríguez, M. M., & Morales, D. M. (2015). Shading nets effect on the production and quality of blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. *Scientia Agropecuaria*, 6(1), 41–50. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.01.04>
- Romero-Gámez, M., Suárez-Rey, E., Castilla, N., & Soriano, T. (2012). Evaluation of global, photosynthetically active radiation and diffuse radiation transmission of agricultural screens. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(2), 306. <https://doi.org/10.5424/sjar/2012102-260-11>
- Romero-Gámez, M., Suárez-Rey, E., & Soriano, T. (2012). Características radiativas de nueve mallas de uso agrícola. *Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera*, 15.
- Romo-Chacón, A., Orozco-Avitia, J. A., Gardea, A. A., Guerrero-Prieto, V., & Soto-Parra, J. M. (2007). Hail Net Effect on Photosynthetic Rate and Fruit Color Development of “Starkrimson” Apple Trees. *Journal of American Pomological Society*, 61(4), 174–178. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaci.2012.05.050>
- RStudio Team. (2021). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. RStudio, PBC. <http://www.rstudio.com/>
- Runkle, E. (2019). DLI Requirements. *Michigan State University*, 2019.
- Santana, J. Q., Balbino, M. A., Tavares, T. R., Bezerra, R. S., Farias, J. G., & Ferreira, R.

- C. (2012). Effect of photoselective screens in the development and productivity of red and yellow sweet pepper. *Acta Horticulturae*, 956(June), 493–500. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.58>
- Santos, B., Obregó Olivas, H., & Salamé Donoso, T. P. (2010). Producción de Hortalizas en Ambientes Protegidos: Estructuras para la Agricultura Protegida. *UF/IFAS Extension University of Florida*, 1–7. [https://horticulture.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk1816/files/extension\\_material\\_files/Santos\\_academic\\_paper\\_estructuras\\_para\\_la\\_agricultura\\_protegida.pdf](https://horticulture.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk1816/files/extension_material_files/Santos_academic_paper_estructuras_para_la_agricultura_protegida.pdf)
- Shahak, Y. (2014). Photoselective netting: An overview of the concept, R and D and practical implementation in agriculture. *Acta Horticulturae*, 1015, 155–162. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2014.1015.17>
- Shahak, Y., Gal, E., Offir, Y., & Ben-Yakir, D. (2008). Photoselective shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. *Acta Horticulturae*, 797(January), 75–80. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.797.8>
- Shahak, Y., Gussakovsky, E. E., Gal, E., & Ganelevin, R. (2004). ColorNets: Crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Horticulturae*, 659(November 2004), 143–151. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.659.17>
- Shahak, Y., Ratner, K., Zur, N., Offir, Y., Matan, E., Yehezekel, H., Messika, Y., Posalski, I., & Ben-Yakir, D. (2009). Photoselective netting: An emerging approach in protected agriculture. *Acta Horticulturae*, 807, 79–84. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.807.7>
- Smit, A., Steyn, W. J., & Wand, S. J. E. (2008). Effects of shade netting on gas exchange



- of blushed apple cultivars. *Acta Horticulturae*, 772, 73–80.  
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.772.8>
- Stamps, R. H. (2009). Use of colored shade netting in horticulture. *HortScience*, 44(2), 239–241. <https://doi.org/10.21273/hortsci.44.2.239>
- Talamini Do Amarante, C. V., Steffens, C. A., & Argenta, L. C. (2011). Yield and fruit quality of “Gala” and “Fuji” apple trees protected by white anti-hail net. *Scientia Horticulturae*, 129(1), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.010>
- Talamini Do Amarante, C. V., Steffens, C. A., Mota, C. S., & Santos, H. P. dos. (2007). Radiação, fotossíntese, rendimento e qualidade de frutos em macieiras “Royal Gala” cobertas com telas antigranizo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(7), 925–931. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2007000700003>
- Tanny, J., Cohen, S., Grava, A., Naor, A., & Lukyanov, V. (2009). The effect of shading screens on microclimate of apple orchards. *Acta Horticulturae*, 807, 103–108. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.807.11>
- Tanny, Josef. (2013). Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosystems Engineering*, 114(1), 26–43. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.10.008>
- Umanzor, C., Bastias, R. M., Wilckens, R., & Quezada, C. (2017). Influencia del uso de malla perla y roja en las condiciones micro-climáticas, daño por sol y desarrollo de color de frutos en huertos de manzanos cvs. Gala y Fuji. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(1). <https://doi.org/10.1590/0100-29452017930>
- Valera, D., Molina, F., & Gil, J. (2001). Las mallas como técnica de control climático en invernaderos. *Vida Rural*, 50–52.

[https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_vrural/Vrural\\_2001\\_139\\_50\\_52.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_vrural/Vrural_2001_139_50_52.pdf)

Wehner, T. C., Naegele, R. P., Myers, J. R., Dhillon, N. P., & Crosby, K. (2020). *Cucurbits* (CAB International (ed.); 2nd Editio).

Xu, Y., Wang, C., Zhang, R., Ma, C., Dong, S., & Gong, Z. (2020). The relationship between internode elongation of soybean stems and spectral distribution of light in the canopy under different plant densities. *Plant Production Science*, 00(00), 1–13. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2020.1847666>

Zamora, E. (2017). EL cultivo de pepino europeo (*Cucumis sativus* L.) bajo cubiertas plásticas. *Universidad de Sonora, Cultivos Protegidos*, 1–8.

Zhong, X., Liang, K., Peng, B., Tian, K., Li, X., Huang, N., Liu, Y., & Pan, J. (2020). Basal internode elongation of rice as affected by light intensity and leaf area. *Crop Journal*, 8(1), 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.05.005>

Zhu, J., Peng, Q., Liang, Y. li, Wu, X., & Hao, W. lin. (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. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60083-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60083-5)

## Anexos

### Anexo 1. Caracterización física del sustrato a base de fibra de coco en mezcla con abono

orgánico, en relación volumen 3:1\*.

Características físicas	Fibra de coco + abono	% óptimo	Volumen (L)
Índice de grosor (%)	65,0	--	
Índice de partículas finas (%)	35,0	--	
Partículas > 4 mm (%)	38,3	--	
Partículas entre 1 y 4 mm (%)	46,7	--	
Partículas entre < 0,25 mm (%)	15,0	--	
Densidad aparente (Dap) gr/ml en base materia seca	0,1799	--	
Densidad real (Dr) gr/ml método del picnómetro	1,1	--	
Porosidad total (PT): 1-(Dap/Dr)	83,65	> 85%	5,4
% Fase sólida (FS): 100-PT	16,35	< 15%	1,1
Componentes totales: Partículas, aire y agua	100,0	--	6,5
Humedad volumétrica (%)	%		Vol. (L)
0 kPa (saturado)	83,65	--	5,4
0,5 kPa	77,52	--	5,0
0,65 kPa (capacidad de contenedor)	71,47	55-70	4,6
1 kPa	59,54	--	3,87
2,0 kPa	45,70	--	3,0
3 kPa	42,11	--	2,7
5 kPa	38,52	30-40	2,5
10 kPa (Punto de marchitez)	35,50	25-30	2,3
Capacidad de aireación (%)	%		
0 kPa (saturado)	0,00	--	0,0
0,5 kPa	6,13	--	0,4
0,65 kPa (capacidad de contenedor)	12,17	15-30	0,8
1 kPa	24,11	--	1,57
2,0 kPa	37,95	--	2,5
3 kPa	41,54	--	2,7
5 kPa	45,13	45-55	2,9
10 kPa (Punto de marchitez)	48,14	55-60	3,1
Tipos de agua (%)	%		L
Agua fácilmente disponible	32,96	20-30	2,1
Agua de reserva	3,01	5,0-10,0	0,2
Agua total disponible	35,97	24-40	2,3
Agua no disponible	23,56	--	1,5

Agua total CC

59,54

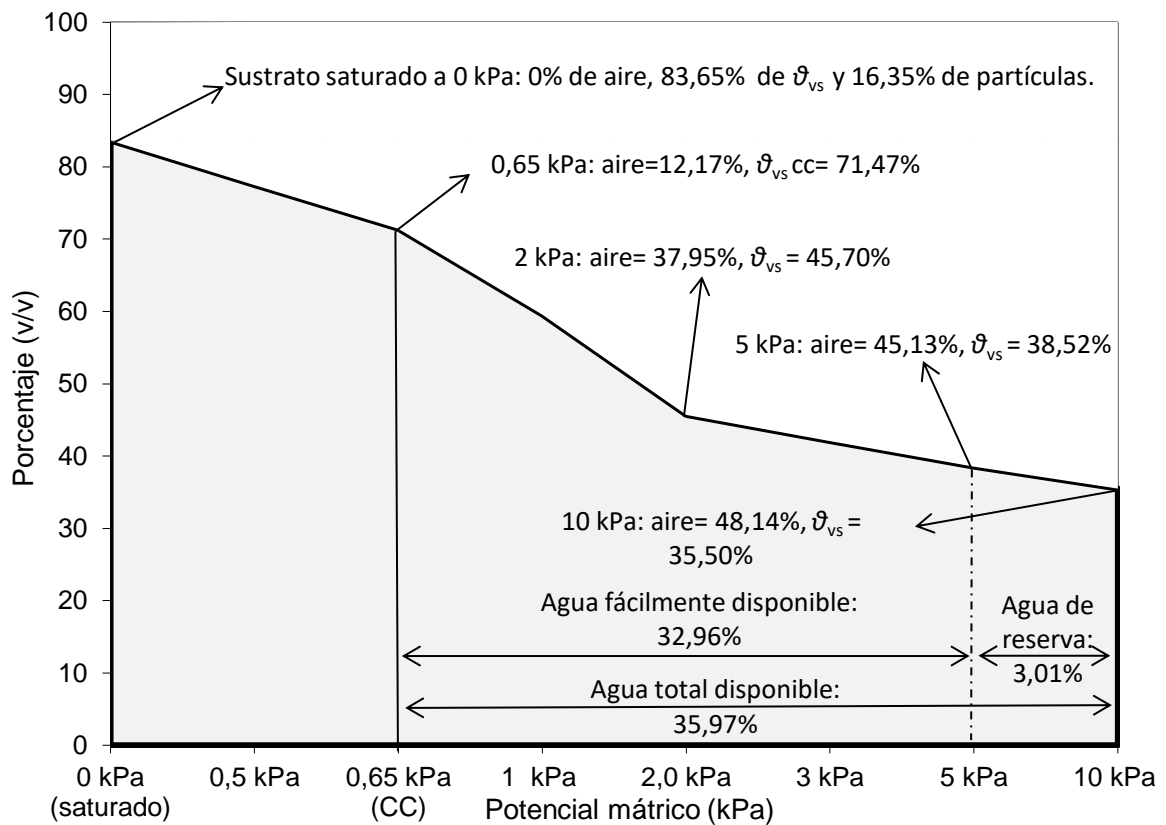
3,87

24,03

1,56

\*Análisis realizado en el Departamento de Hortalizas de la Universidad de Costa Rica.

**Anexo 2.** Porcentaje volumen/volumen vs potencial mátrico (kPa) de un sustrato de fibra de coco en mezcla con abono orgánico relación volumen 3:1, sometido a succiones de 0,5 a 10 kPa\*.



\*Análisis realizado en el Departamento de Hortalizas de la Universidad de Costa Rica.

**Anexo 3.** Medias del número de frutos por planta totales según el tratamiento y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p respectivos, en plantas de pepino (*Cucumis sativus*) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.

Valores de medias		Comparaciones		
Tratamiento*	Número de frutos totales	Tratamientos	Diferencia de medias	Valor p**
		AJ - PJ	-6,000	0,7423
AJ	14,8	AJ - RJ	-0,812	0,9990
PJ	20,8	AJ - TJ	-6,375	0,7075
RJ	15,6	PJ - RJ	5,188	0,8136
TJ	21,1	PJ - TJ	-0,375	0,9999
		RJ - TJ	-5,562	0,7815
		AL - PL	-9,312	0,4371
AL	72,7	AL - RL	-6,375	0,7075
PL	82,0	AL - TL	-16,062	0,0971
RL	79,1	PL - RL	2,938	0,9568
TL	88,8	PL - TL	-6,750	0,6720
		RL - TL	-9,688	0,4065

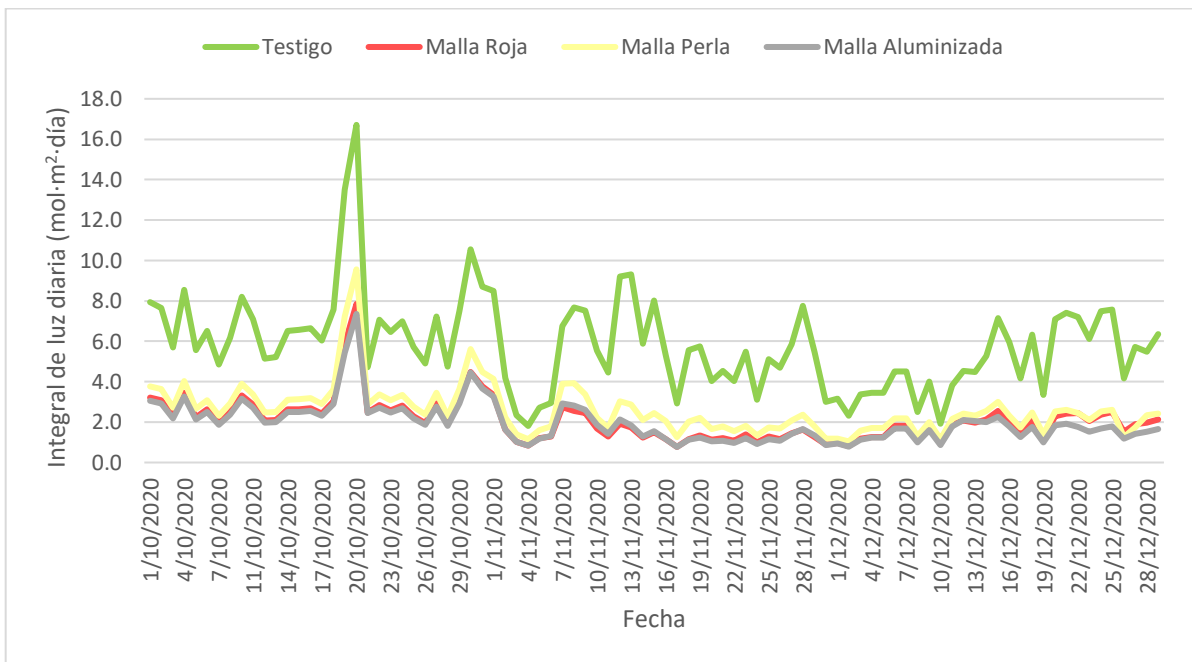
Nota: \*AJ= malla aluminizada/variedad Javan, PJ= malla perla/variedad Javan, RJ= malla roja/variedad Javan, TJ= testigo/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Larino, PL= malla perla/variedad Larino, RL= malla roja/variedad Larino, TL= testigo/variedad Larino, AL= malla aluminizada/variedad Larino. \*\*Valores en negrita muestran diferencias significativas al 95 % de confianza.

**Anexo 4.** Medias del número de frutos por planta según la categoría de calidad (comercial, no comercial o deforme) y comparaciones entre tratamientos, diferencias entre medias y valor p respectivos, en plantas de pepino (*Cucumis sativus*) variedad Javan y Larino, en condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.

Categoría	Valores de medias		Comparaciones		
	Tratamiento*	Número de frutos	Tratamientos	Diferencia de medias	Valor p**
Comercial			AJ - PJ	-3,250	0,9241
	AJ	11,1	AJ - RJ	0,750	0,9989
	PJ	14,4	AJ - TJ	-3,062	0,9352
	RJ	10,4	PJ - RJ	4,000	0,8708
	TJ	14,5	PJ - TJ	0,188	1,0000
			RJ - TJ	-3,812	0,8854
			AL - PL	-10,688	0,2557
	AL	65,3	AL - RL	-7,750	0,4964
	PL	76,0	AL - TL	-16,438	0,0568
	RL	73,1	PL - RL	2,938	0,9420
		PL - TL	-5,750	0,7051	
		RL - TL	-8,688	0,4079	
No comercial			AJ - PJ	-1,625	0,4907
	AJ	3,19	AJ - RJ	-1,312	0,6452
	PJ	4,81	AJ - TJ	-2,938	0,1093
	RJ	4,50	PJ - RJ	0,312	0,9912
	TJ	6,12	PJ - TJ	-1,312	0,6452
			RJ - TJ	-1,625	0,4907
			AL - PL	1,000	0,7986
	AL	2,88	AL - RL	1,000	0,7986
	PL	1,88	AL - TL	0,250	0,9954
	RL	1,88	PL - RL	0,000	1,0000
		PL - TL	-0,750	0,8996	
		RL - TL	-0,750	0,8996	
Deforme			AJ - PJ	-1,125	0,6401
	AJ	0,438	AJ - RJ	-0,250	0,9926
	PJ	1,562	AJ - TJ	-0,375	0,9761
	RJ	0,688	PJ - RJ	0,875	0,7847
	TJ	0,812	PJ - TJ	0,750	0,8492
			RJ - TJ	-0,125	0,9990
			AL - PL	0,375	0,9761
	AL	4,500	AL - RL	0,375	0,9761
	PL	4,125	AL - TL	0,125	0,9990
	RL	4,125	PL - RL	0,000	1,0000
		TL	4,375		

PL - TL	-0,250	0,9926
RL - TL	-0,250	0,9926

Nota: \*AJ= malla aluminizada/variedad Javan, PJ= malla perla/variedad Javan, RJ= malla roja/variedad Javan, TJ= testigo/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Javan, AL= malla aluminizada/variedad Larino, PL= malla perla/variedad Larino, RL= malla roja/variedad Larino, TL= testigo/variedad Larino, AL= malla aluminizada/variedad Larino. \*\*Valores en negrita muestran diferencias significativas al 95 % de confianza.



**Anexo 5.** Integral de luz diaria o DLI ( $\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{día}$ ) registrada en el periodo, a 2 m del suelo entre el dosel de plantas de pepino (*Cucumis sativus*), bajo la influencia de tres tipos de mallas agrícolas (perla, rojo y aluminizada) y un testigo sin malla, bajo condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica, 2020.