

**VALORACIÓN DEL USO DE CASAS SOMBRA PARA LA PRODUCCIÓN
HORTÍCOLA EN LA REGIÓN HUETAR CARIBE DE COSTA RICA**

Adriana Fallas Campos

**PRÁCTICA DIRIGIDA PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN
INGENIERÍA AGRONÓMICA CON ÉNFASIS EN FITOTECNIA**

**Escuela de Agronomía
Facultad de Ciencias Agroalimentarias
Universidad de Costa Rica**

2020

**VALORACIÓN DEL USO DE CASAS SOMBRA PARA LA PRODUCCIÓN
HORTÍCOLA EN LA REGIÓN HUETAR CARIBE DE COSTA RICA**

Adriana Fallas Campos

Práctica Dirigida para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agronómica con
énfasis en Fitotecnia



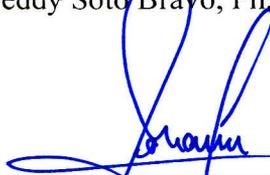
Gustavo Quesada Roldán, Ph.D.

Director de Práctica Dirigida



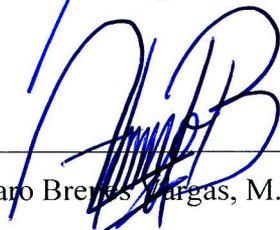
Freddy Soto Bravo, Ph.D.

Miembro del Tribunal



Francisco Marín Thiele, Lic.

Miembro del Tribunal



Álvaro Brenes Vargas, M.Sc.

Miembro del Tribunal



Luis Gómez Alpízar, Ph.D.

Director de Escuela Agronomía



Adriana Fallas Campos

Sustentante

San José, 2020

Dedicatoria

Sin dudarlo ni por un segundo, a mis padres..... Gracias a ustedes, esto fue posible. Gracias a ustedes, soy.

AGRADECIMIENTOS

Escribo desde la tormenta, cuando ni siquiera he comenzado formalmente el documento que hoy presento, buscando un poco la inspiración y las partes de mí que hoy me componen.

Para ello es muy necesario volver a mis orígenes, recordar las mañanas frías y ventosas en Acosta, donde de mis padres aprendí el amor por la tierra, el compromiso, el trabajo fuerte y honesto, además de tantos valores y enseñanzas basados en el ejemplo. Que me dieron la plena libertad de volar en su momento, con el respeto de disertar en muchas opiniones y forma de vida. La que aún podemos compartir en totalidad, sin que mengüe el respeto y el amor entre nosotros. Por ellos estoy hoy aquí, de pie. Una vida no me va alcanzar para demostrarles mi gratitud y amarlos ni la mitad de lo que merecen. Los más altos honores y respeto para ellos.

No se elige la vida, se va llevando. Mi compañero, Thomas Hemmer, un reto extraño que me puso la vida. Un misterio que me sigue intrigando al día de hoy. Sin esperarlo, ha sido mi soporte, una manera de encontrarme a mí misma. Lo que soy actualmente en gran parte lo debo a muchas largas conversaciones que hemos podido compartir.

A esas personas admirables que me abrieron más que las puertas de su casa, que les tocó reaccionar ante todos los imprevistos, que me regalaron sus consejos y amplia experiencia en conocimiento práctico. Maestros que me enseñaron los secretos de labrar la tierra, y además me ofrecieron comida, abrigo y amor. Carol, Geovanny y Josué, nada de esto hubiera sido posible sin ustedes.

Me acuerdo recibir en brazos a esos bebés hermosos que hoy son fuente de orgullo para mí. Espero tener mucha vida por delante para ver en qué tipo de persona se van a convertir y cada día poder acercarme más a ustedes. Aunque no siempre parezca presente, los tengo siempre en mi cabeza y son una de las fuerzas más grandes de por qué escribo y me quiero superar. Isaac

y David, con sus vidas me han llenado de esperanzas de que en este mundo no todo es malo, porque existen personas buenas como ustedes.

A mi director de práctica, don Gustavo, que recién volviendo al país, tuvo la entereza de aceptar el reto de acompañarme en el proceso. Gracias por su acompañamiento y su valentía. Sólo una persona, en mi primer reto como profesional, me generó verdadero interés y admiración. Mi referente indiscutible cuando intento describir mi profesión, gracias por tanto don Francisco. A don Freddy, que sin conocerme, acepta acompañarme en este camino y poner a mi disposición sus amplios conocimientos en el tema. A los tres, gracias por guiarme y enriquecer esta investigación

A los profesores don Álvaro y don Guillermo, que sin deber, invirtieron su valioso tiempo de manera desinteresada. Gracias por introducirme en sus respectivas especialidades y tener paciencia a mi ignorancia. Sin ese impulso, esto no hubiera sido posible.

Mencionarlos a todos sería limitarlos. Abril, Roy y Dani, más que amigos y compañeros, son mis hermanos elegidos. Y en general gracias, porque cada persona y experiencia de la vida, mal llamadas buenas y malas, me han formado como soy. Gracias por formar parte de mi vida.

Al Consejo Nacional de Producción, por permitirme realizar esta práctica dirigida en conjunto, además de ser el primer lugar donde trabajé como técnico y enfrenté mis primeras experiencias profesionales.

“¿Adónde te crees que vas y de dónde crees que vienes?” Preguntaba el viejo al verme marchar, muerto de hambre y sed.” Si no tienes rumbo, chico estás perdido.” Yo le respondí “Voy hacia el sol y vengo del camino”....Y todos mis pecados viajaran conmigo ayudándome a acertar el camino..... Ignacio Vegas.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
ÍNDICE.....	5
LISTA DE CUADROS	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE ANEXOS	8
RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN.....	11
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
Proyección de la agricultura mundial	13
Situación de la agricultura protegida y la tecnología de casas de sombra.....	13
Estudios realizados sobre el estado de la agricultura protegida en Costa Rica.....	16
Proyecto institucional del Consejo Nacional de la Producción (CNP).....	17
Otras experiencias similares en el país.....	18
Descripción climática de la zona.....	19
Parámetros de medición microclimáticas de importancia en casas de sombra.....	20
Características generales de las especies de hortalizas bajo estudio.....	22
MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
Localización	24
Periodo de realización de la práctica dirigida.....	24
Descripción de la estructura empleada.....	24
Mediciones climáticas.....	25
Tratamientos.....	25
Manejo agronómico.....	26
Evaluaciones.....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
Información meteorológica.....	30
Luz PAR.....	30
Temperatura.....	32
Humedad Relativa.....	34
Crecimiento de la planta.....	36
Productividad.....	42
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS.....	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Promedio de peso por planta (g), producción por metro cuadrado (g), días a cosecha y grados día acumulados (GDA) del cultivo de cebollino en el primer y segundo ciclo, en ambientes con (parcela interna) y sin (parcela externa) serán en casa sombra. Cariari, Pococí, 2019.....	43
Cuadro 2. Promedio de peso por planta (g), producción por metro cuadrado (g), días a cosecha y grados día acumulados (GDA) del cultivo de col china en el primer y segundo ciclo, en ambientes con (parcela interna) y sin (parcela externa) serán en casa sombra. Cariari, Pococí, 2019.....	45
Cuadro 3. Producción por metro cuadrado (g) y grados día acumulados (GDA) del cultivo de vainica en el primer y segundo ciclo, en ambientes con (parcela interna) y sin (parcela externa) sombreo en casa sombra. Cariari, Pococí, 2019.....	47
Cuadro 4. Promedio de peso por planta (g), producción por metro cuadrado (g), días a cosecha y grados día acumulados (GDA) del cultivo de rúgula en el primer y segundo ciclo, en ambientes con (parcela interna) y sin (parcela externa) serán en casa sombra. Cariari, Pococí, 2019.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista 3D con sarán; cotas en metros y distribución de las camas de siembra de 1,2 metros de ancho y 0,25 metros entre calles (FAO, según Miranda et al 2015).....	25
Figura 2. Distribución de las repeticiones en la parcela interna y externa, donde: C: Cebollino, CC: Col china, R: Rúgula, V: Vainica y 1,2 y 3: número de repetición.....	26
Figura 3. Promedio de luz PAR en la parcela interna y externa del A) primer ciclo y B) segundo ciclo, en casa de sombra en la localidad de Cariari, Pococí. 2019.....	30
Figura 4. Promedio de temperatura en la parcela interna y externa del A) primer ciclo y B) segundo ciclo, en casa de sombra en la localidad de Cariari, Pococí. 2019.....	32
Figura 5. Promedio de humedad relativa (HR) en la parcela interna y externa del A) primer ciclo y B) segundo ciclo en casa de sombra en la localidad de Cariari, Pococí. 2019.....	34
Figura 6. Longitud de la hoja más desarrollada en los 1, 20, 27, 34 y 40 DDT (primer ciclo), en los cultivos de cebollino, col china y rúgula. Cariari, Pococí. 2019. Donde C: Cebollino, CC: Col china, V: Vainica, R: Rúgula, I: Parcela interna, E: Parcela externa.....	37
Figura 7. Longitud de la hoja más desarrollada a los 1, 31, 38 y 53 DDT (segundo ciclo), en los cultivos de cebollino, col china y rúgula. Cariari, Pococí. 2019. Donde C: Cebollino, CC: col china, V: vainica, R: rúgula, I: parcela interna, E: parcela externa.....	39

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis químico del suelo Parcela Interna y Externa.....	60
Anexo 2. Análisis químico del abono orgánico utilizado.....	61
Anexo 3. Parcela externa versus parcela interna 21 DDT, primer ciclo, Cariari, Pococí, 2019.....	62
Anexo 4. Cultivo de cebollino en la parcela externa versus parcela interna 28 DDT, primer ciclo, Cariari, Pococí, 2019.....	63
Anexo 5. Cultivo de col china en la parcela externa versus parcela interna 28 DDT, primer ciclo, Cariari, Pococí, 2019.....	63
Anexo 6. Cultivo de vainica en la parcela externa versus parcela interna 28 DDT, primer ciclo, Cariari, Pococí, 2019.....	64
Anexo 7. Cultivo de rúgula en la parcela externa versus parcela interna 28 DDT, primer ciclo, Cariari, Pococí, 2019.....	64
Anexo 8. Parcela externa versus parcela interna 25 DDT, segundo ciclo, Cariari, Pococí, 2019.....	65
Anexo 9. Cultivo de cebollino en la parcela externa versus parcela interna 18 DDT, segundo ciclo, Cariari, Pococí, 2019.....	66
Anexo 10. Cultivo de col china en la parcela externa versus parcela interna 18 DDT, segundo ciclo, Cariari, Pococí, 2019.....	66
Anexo 11. Cultivo de vainica en la parcela externa versus parcela interna 18 DDT, segundo ciclo, Cariari, Pococí, 2019.....	67
Anexo 12. Cultivo de rúgula en la parcela externa versus parcela interna 18 DDT, segundo ciclo, Cariari, Pococí, 2019.....	67

RESUMEN

La agricultura protegida ha tomado especial importancia en tiempos actuales. Este tipo de técnica permite tener mayor control de los factores, tanto bióticos como abióticos. Entre los segundos, los parámetros climáticos determinan principalmente el crecimiento y la producción.

En el presente trabajo se tuvo como objetivo valorar el desempeño de una casa de sombra dedicada a la producción hortícola bajo condiciones de la región Huetar Caribe de Costa Rica

Se realizó una validación técnica por medio de dos ciclos de siembra de cuatro cultivos hortícolas: Cebollino (*Allium schoenoprasum*), Col china (*Brassica rapa L. ssp. pekinensis*), Vainica (*Phaseolus vulgaris*), y Rúgula (*Eruca vesicaria ssp. sativa*). Se establecieron dos tratamientos, con idéntico manejo agronómico, uno con la influencia de la casa de sombra (parcela interna) y otro a la intemperie (parcela externa). Cada uno consistió en la siembra de tres repeticiones de las cuatro hortalizas mencionadas, distribuidas en un diseño irrestricto al azar. El primer ciclo se realizó del 9 de abril al 31 de mayo del 2019, donde predominaron condiciones climáticas caliente y lluviosa; el segundo ciclo del 15 de septiembre al 7 de noviembre del 2019, donde fue frecuente el clima caliente y seco.

Al inicio de la práctica se colocó una mini estación meteorológica (WatchDog 2475 Plant Growth Station), para registrar luz PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%). En la parcela exterior se colocó una barra con sensores para registrar luz PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Y se solicitaron los datos de la humedad relativa (%) y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de la estación meteorológica de Cantagallo, la más cercana al sitio de la práctica, ubicada a 14 Km de distancia.

Se midió la longitud de la hoja más desarrollada de cuatro plantas por repetición (cm) a lo largo del ciclo, en los cultivos de cebollino, col china y rúgula. A la cosecha, se tomaron cuatro plantas por repetición. Se determinó peso por planta (g), producción por metro cuadrado (g/m^2),

número de hojas, días a cosecha y grados día acumulados (GDA). En el caso de las vainicas, se midió la producción por metro cuadrado (g/m^2) y grados día acumulados (GDA).

En cuanto a los parámetros climáticos se logró comprobar que la estructura redujo satisfactoriamente el exceso de radiación solar incidente en horas de máxima luz solar, las temperaturas fueron levemente mayores y la humedad relativa obtuvo valores menores en el interior de la estructura con respecto al exterior.

Se demostró que se pueden lograr producciones en cultivos que muestran dificultades al producirse convencionalmente en la zona, como vainica y rúgula; así como alcanzar calidades y rendimientos superiores en cultivos que sí se pueden producir a campo abierto en la región, como el cebollino y col china. Los resultados obtenidos en general validan el uso de este tipo de tecnología en la zona.

INTRODUCCIÓN

La agricultura protegida se refiere a los sistemas productivos que se realizan en estructuras cerradas o semi-cerradas, cubiertas por algún tipo de material transparente o semitransparente, que genere condiciones microclimática artificiales. Entre ellas se encuentran los microtúneles, macrotúneles, invernaderos y casas de sombra (Méndez 2006).

La casa de sombra es uno de los tipos de ambientes protegidos más comúnmente utilizados en los trópicos, para reducir el flujo de radiación solar que incide sobre la planta y moderar las fluctuaciones diurnas y estacionales de otras variables ambientales (Gutiérrez et al 2002).

Ésta se define como una estructura temporal, que sostiene una malla formada por tejido de fibras de polietileno o polipropileno, cuyo porcentaje de sombreado se determina por el tejido y cantidad de filamentos por unidad de área (Murillo 2009).

Los materiales cobertores utilizados para este tipo de estructuras presentan distintas propiedades físicas, tipo de material, grosor, tamaño, entre otros, para proteger los cultivos y generar cambios en éstos para el aprovechamiento del ser humano. El uso de mallas afecta la calidad y cantidad de luz que reciben las plantas (Jiménez et al 2002).

Las casas de sombra proveen control pasivo del ambiente. Protegen las plantas del exceso de radiación, caída de agua y viento de una manera parcial, pero no extiende significativamente la época de cosecha, a diferencia de otros tipos de estructuras (Méndez 2006). Produce un efecto en la calidad y productividad, ya que regula la radiación solar, mejora el aprovechamiento de insumos y permite el crecimiento de varias especies de plantas con necesidades diferentes en un mismo espacio (Murillo 2009).

Este tipo de sistemas de producción toma especial importancia en la actualidad, ya que la variabilidad climática ha sido más evidente en los últimos años. La necesidad de una agricultura más precisa es inminente. El monitoreo y valoración de las condiciones es un punto

fundamental para la toma de decisiones, ya que el cultivo, según la complejidad del ambiente protegido, depende de éstas, en menor o mayor escala (Marín 2015).

Se prevé que en los próximos años un tema clave para la seguridad alimentaria es el desarrollo de la agricultura local e implementación de agricultura protegida, con tecnología generada en la zona (Solórzano 2013).

Aprovechando los atributos de este tipo de tecnología, el Consejo Nacional de Producción (CNP) propuso un plan piloto en la región Huetar Caribe, que consistió en la colocación de estructuras del tipo de casas sombra con el fin de producir hortalizas, introduciendo a los productores en la utilización de este tipo de herramientas tecnológicas simples para diversificar su producción, aportando a la seguridad alimentaria y dinamizando el mercado local.

Para aportar en el conocimiento técnico de este tema en la región, se planteó el presente trabajo cuyo objetivo general fue valorar el desempeño de una casa de sombra dedicada a la producción hortícola bajo condiciones de la región Huetar Caribe de Costa Rica.

Los objetivos específicos fueron:

Caracterizar las condiciones ambientales en el interior de una casa de sombra mediante instrumentos simples para la medición de luz PAR, temperatura y humedad relativa.

Determinar el potencial productivo de cuatro cultivos hortícolas.

Generar recomendaciones para la instalación de las casas de sombra en la zona.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Proyección de la agricultura mundial

Un informe técnico realizado por la FAO (2002), que plantea una proyección del comportamiento de la agricultura mundial hacia el año 2015-2030, muestra que las tasas de crecimiento de la producción agropecuaria y los rendimientos mundiales van a disminuir. Esto genera la preocupación de no poder aumentar la producción de alimentos en el futuro, ya que se proyecta que para el 2030 habrá una población mundial de 8.270 millones de personas.

En dicho informe se definen tres fuentes de crecimiento en la producción: aumento de la tierra cultivada, incremento de la frecuencia de las cosechas y aumento de los rendimientos. Se sugiere que se podría estar llegando al límite de las posibilidades para dichas fuentes.

En los próximos 30 años las necesidades de alimentos se duplicarán. El desafío será satisfacer las demandas de una mayor población con menos disponibilidad de tierra agrícola y agua (Moreno et al 2011).

La mayoría de las personas que habitan las zonas rurales dependen de la agricultura local para la alimentación y como medio de vida. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la producción es muy limitada bajo las condiciones tecnológicas existentes. En este tipo de lugares, se recomienda desarrollar una agricultura mediante el apoyo a la investigación y la extensión agrícola, la concesión de créditos y la creación de infraestructuras (FAO 2002).

Situación de la agricultura protegida y la tecnología de casas de sombra

En respuesta a esta situación, la agricultura protegida se encuentra en crecimiento a nivel global. En el año 2018 se reportaron 500.000 ha de la superficie mundial cubiertas de invernaderos permanentes, de cristal y de plástico. China (82.000 ha) y España (70.000 ha) representan un 30 % dicha superficie. En Europa se reportan 21.000 ha, en Asia 180.000 ha, África 44.700 ha, Oriente Próximo 27.000 ha, Norte y Centroamérica 23.000 ha, Suramérica 14.000 ha y Oceanía 1300 ha (Rabobank 2018).

Entre las tecnologías de agricultura protegida se encuentran las casas de sombra o invernadero de malla, que se definen como estructuras simples que sostienen una malla con un determinado porcentaje de sombreado (Murillo 2016). Éstas se utilizan en los trópicos para obtener producciones con alto valor agregado (hortalizas, frutas, flores, ornamentales y plantas de vivero), la atenuación de los efectos de las altas temperaturas, reducción de la velocidad del viento, limitación del impacto de climas áridos, reducción de las necesidades de agua, extensión de las áreas de producción y los ciclos de cultivo (Solórzano 2013).

Cabe mencionar que los cambios microclimáticos van a depender de la ubicación, del diseño y del tamaño. Esto va a influir en aspectos como la reducción de la evaporación, la alteración de la distribución espacial de la lluvia en el interior, la temperatura en el suelo y la cantidad de la radiación. Promueven la apertura estomática, reduce el estrés hídrico y los daños por exceso de radiación (Gutiérrez et al 2002).

Las casas de sombra están siendo ampliamente utilizadas en países como: España, México, Colombia, Italia e Israel (Leyva 2014).

En España, es común la utilización de las mismas en el verano para la producción de hortalizas en zonas mediterráneas no aptas, donde se ha desarrollado una importante infraestructura y tecnología en los últimos años (Leyva 2014).

En México, se utiliza ampliamente la tecnología de producción en ambientes protegidos en la producción de tomate, lo que lo hace el principal exportador mundial, abarcando el 20% del mercado (Villamontes 2019).

En este mismo país, entre los años 1998 a 2008, las hectáreas de agricultura protegida crecieron un 34.5%. El 49% corresponde a módulos de mediana y alta tecnificación y el 51% son casas de sombra (Moreno et al 2011). Actualmente la mayoría de tecnologías utilizadas son importadas, comprometiendo de cierta manera el éxito de los proyectos, ya que no fueron desarrolladas para las condiciones climáticas, laborales y comerciales de esta zona en

particular. A pesar de esto, ha habido proyectos muy exitosos. Existen 57.000 hectáreas en operación, de las cuales 27.000 corresponde a cultivos hortícolas (Villamontes 2019).

En Colombia, en el Centro de Investigación Caribia, se evalúan distintas infraestructuras, entre ellas las casas de sombra, para la producción intensiva de hortalizas, considerando el desempeño agronómico de los cultivos, la viabilidad económica y la transferencia de tecnología a los productores de la región. Similar a los esfuerzos del CNP en nuestro país, en este caso los beneficiarios son grupos de familias de productores con el objetivo de penetrar y posicionarse en los mercados locales, al poder producir todo el año hortalizas, y generando un modelo de agronegocio replicable en muchos entornos rurales de Latinoamérica (Noreña 2018).

En Costa Rica, desde hace aproximadamente 49 años se producen plantas, principalmente ornamentales y hortalizas, bajos sistemas de agricultura protegida (Jiménez et al 2002). En los últimos 29, se ha vuelto más popular entre productores de plantas ornamentales, lo que ha permitido la exportación de plantas de alta calidad (Berrocal 1996).

En la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, en la provincia de Alajuela, se llevó a cabo una evaluación de 9 especies de palmas ornamentales, con mallas de diferentes porcentajes de sombreo (40, 50, 60, 70 y 80 %) y con un control a pleno sol. Se tomaron mediciones como la altura de la planta, longitud de la hoja más desarrollada y número de hojas cosechadas en cinco cosechas, a lo largo de dos años. Entre los resultados más importantes, se confirma que la disponibilidad de luz controla el crecimiento y la producción de hojas, el tamaño de las plantas y la acumulación de reservas necesarias para la reproducción. Que sombras de 40, 50 y 60% son las más aptas para el inicio del desarrollo, ya que involucran modificaciones en las relaciones hormonales, nutricionales y ecológicas que incentivan el crecimiento compacto. Para etapas más avanzadas se recomienda niveles de sombra igual o mayor a 70%, para promover un color verde intenso y la aclimatización a interiores (Gutiérrez y Jiménez 2007).

En la misma estación, se realizó una investigación que consistió en la utilización de estructuras de casas de sombra, con mallas de distintos colores (rojo, amarillo, azul y negro como control), con la finalidad de comprobar el efecto de diferentes longitudes de onda sobre varias especies de plantas ornamentales de interés comercial (Jiménez et al 2002).

Entre los resultados más sobresalientes, se comprobó que la calidad, la cantidad e intensidad de luz produce cambios significativos sobre las plantas como las hojas, brotes y bejucos. La escogencia del mejor color de malla dependerá de la especie en particular, en base a las necesidades y exigencias del mercado. Se encontró que el crecimiento y la productividad de las especies ornamentales investigadas fue mejor con los colores de mallas rojo y amarillo. Y que en las mallas de color azul se produjeron plantas de menor tamaño y mayor ramificación. Dichos colores de malla fueron elegidos ya que las plantas sólo son capaces de utilizar una porción de la radiación incidente, captada por pigmentos. Entre los más importantes se mencionan: la clorofila a y b, el beta caroteno y las xantofilas, que presentan una absorción intensa en regiones azul y rojo del espectro (Jiménez et al 2002).

Estudios realizados sobre el estado de la agricultura protegida en Costa Rica

El Programa Nacional de Agricultura Protegida (ProNAP) realizó un censo sobre la agricultura protegida (Marín 2010), que como principales resultados reporta un área total de 688,53 ha de ambientes protegidos en todo el país. El 25,3 ha del total de los ambientes protegidos están sembrados de hortalizas de hoja, de las cuales no se reporta ninguno en la provincia de Limón. Las principales estructuras utilizadas para este fin son los techitos de dos aguas, registrando un 28,17% de la producción total del país. Otras estructuras utilizadas son: macrotúneles (11,47%), casas de sombra (10,33%), multicapilla (7,98%), cerrado (7,04%) y microtúneles (6,57%). El 75,45% de las unidades productivas, emplean mano de obra familiar. En el 63,47% de las unidades productivas la familia aporta más de las tres cuartas partes del tiempo requerido para la actividad. El 55,69% se desarrollan exclusivamente con mano de obra familiar.

La provincia de Limón registró 27,44% de la agricultura protegida del país, con un tamaño promedio de 1,25 ha. No se reportó producción de hortalizas.

Se ha reportado un crecimiento de este tipo de agricultura protegida de hasta un 600%, de acuerdo con una comunicación personal de Marín (2019¹).

Proyecto institucional del Consejo Nacional de la Producción (CNP)

El proyecto piloto de casas de sombra nace como una propuesta del CNP, con el fin de promover la producción de hortalizas a nivel local. Además de tener un carácter social, donde se intenta involucrar a mujeres y personas jóvenes en las actividades agrícolas, ya que, como se ve reflejado en el último censo agropecuario nacional es posible notar el sesgo existente en cuanto a sexo de las personas productoras, donde solo el 15,6% son mujeres y el promedio de edad de los productores es de 53,9 años (INEC, 2015).

En el 2014, se inició una selección de posibles beneficiarios con las características de interés. Se identificó el asentamiento el Maná, en Cariari de Pococí. En el 2017 se culminó la instalación de dos casas de sombra en dicho asentamiento.

La tecnología utilizada, propuesta por la FAO, ha sido importada de Brasil. Actualmente está creciendo en popularidad en el país, con proyectos similares instalados en la zona de Guanacaste y San Vito financiados con fondos públicos.

Por lo tanto, surge la necesidad de contar con una validación técnica para conocer las capacidades del ambiente protegido, elegir de mejor forma los cultivos a manejar e incluir modificaciones técnicas para proyectos similares en la zona, ya que instituciones gubernamentales y privadas de la región, muestran interés en la utilización de dicha tecnología. Cariari es una zona con características de alta humedad, intensas precipitaciones y pocas horas luz, se vuelve indispensable saber si los cambios ambientales son beneficiosos y qué mejoras se podrían implementar para lograr una optimización del sistema productivo. Además, las

¹ Marín, Francisco 2019. Gerente General del Programa Nacional de Ambientes Protegidos (ProNAP), Costa Rica.

familias beneficiarias tienen ingresos muy limitados, dada la carencia de actividades productivas o los accesos a mercados; por tanto, la instalación de esta tecnología podría ser perjudicial a nivel económico, si no se tiene un conocimiento claro del mantenimiento de la estructura.

Otras experiencias similares en el país

En el año 2015, el INDER realizó una inversión en la construcción de módulos de casas de sombra en la zona Coto Brus, destinados a la producción de hortalizas varias. El beneficio fue concedido a 10 familias del Asentamiento Bajo los Reyes, con asesoría de funcionarios del INDER y la FAO (Briones 2016).

Éste tipo de tecnología recibió una amplia aceptación por los agricultores, que expresan que el trabajo en el módulo es más liviano y simple que en campo abierto, además de obtener buenos rendimientos y productos de excelente calidad (Briones 2016).

Para dicho proyecto, Soto y Méndez (2016) realizaron una validación técnica de las estructuras en época de verano, por un lapso de 10 días. El objetivo fue valorar el efecto del sombreado sobre la radiación solar, temperatura y humedad relativa. Las variables fueron medidas en el interior y exterior de las casas sombra. Además, se estudió el estado agronómico de los cultivos, el estado de la estructura y se aplicó una encuesta a los beneficiarios.

El estudio concluyó que, la intensidad de radiación PAR incidente en el interior y exterior de las casas sombra es dependiente de factores como la nubosidad, la hora del día, la localidad y el estado del sarán (edad y mantenimiento). En el interior de los módulos, la malla redujo satisfactoriamente el exceso de radiación en horas de máxima incidencia de luz solar. La temperatura y la humedad relativa en el interior de los módulos se redujo en comparación con el exterior, durante la mayor parte del día y en las horas de máxima radiación solar. La mayoría de los cultivos analizados mostraron crecimiento y desarrollo normal, a excepción de la lechuga y repollo, que presentaron ligera etiolación, que no significó una pérdida de calidad comercial.

Como recomendaciones, Soto y Méndez (2016) mencionan la necesidad de realizar estudios del sistema en diferentes épocas del año, incluyendo periodos de alta precipitación y menor radiación solar, ya que en las encuestas aplicadas los productores señalan que han mostrado dificultades con la producción en época lluviosa. Además de sugerir realizar capacitaciones y acompañamiento a los productores, ya que no están familiarizados con este tipo de cultivos.

En la región Chorotega, en el 2016, se implementó la tecnología con el objetivo de producir hortalizas para el abastecimiento del Mercado Regional y para mejorar la seguridad alimentaria. Los productores fueron seleccionados por el MAG y sometidos a un estudio socio económico por parte del IMAS, que otorgó recursos para la construcción (Murillo y Sánchez 2016). Sobre este proyecto no se han realizado estudios técnicos a la fecha.

Descripción climática de la zona

Según la clasificación de Holdridge, Pococí tiene distintas zonas de vida. Las tres principales son: Bosque Muy Húmedo Tropical, Bosque Pluvial Premontano y Bosque Muy Húmedo Premontano.

Según el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), en una información solicitada sobre la situación climática de la zona, a partir de la estación meteorológica de Cantagallo, situada a 14 Km del sitio donde se realizó la práctica, en un periodo de 1996 a 2015, se puede concluir que en la región predomina el clima tropical húmedo y muy húmedo.

La radiación solar global promedio anual es de 9,7 MJ/m², alcanzado los valores máximos en los meses de marzo y abril (12 MJ/m²) y los mínimos en noviembre y diciembre (7 MJ/m²). Las temperaturas son altas y constantes todo el año. La máxima de 30,7°C, la media es 26,3°C y la mínima 21,9°C. Presenta abundantes lluvias, el promedio anual es de 4118 mm, y el promedio mensual es de 347 mm, aunque julio (492 mm), noviembre (500,9 mm) y diciembre (593,1mm) superan esta media. La humedad relativa presenta valores promedios de 92,2%, siendo la más húmedas a nivel nacional.

Vargas y Blanco (2004) han clasificado las condiciones climáticas de la zona Caribe de Costa Rica en cuatro épocas:

- Febrero, marzo y abril: moderadamente caliente y seca.
- Mayo, junio y julio: caliente y lluviosa.
- Agosto, setiembre y octubre: caliente y seca.
- Noviembre, diciembre y enero: fría y lluviosa.

Parámetros de medición microclimática de importancia en casas de sombra

Las casas de sombra son estructuras de control ambiental limitado, sin embargo, logran modificar aspectos como el porcentaje de luz, la temperatura y la humedad relativa interna del ambiente (Gutiérrez et al 2002). Varios parámetros climáticos afectan directamente la respuesta en el desarrollo y producción de las plantas:

La luz fotosintéticamente activa o radiación fotosintéticamente activa (RFA), conocida por sus siglas en inglés como **luz PAR**, se refiere a la cantidad de radiación integrada del rango de longitudes de onda que son capaces de producir actividad fotosintética. Se estima que este tipo de radiación representa un 50% de la radiación solar global (Wien 1999).

Dentro del espectro de la radiación solar, se encuentra en el rango entre los 400 y los 700 nm, junto a los espectros de absorción de la clorofila A, clorofila B y los carotenoides. Se expresa en términos de energía por unidad de superficie ($W m^{-2}$) o de cuantos ($\mu mol m^2 s^{-1}$). Es una forma de describir la radiación incidente en la fotosíntesis (Raffo e Iglesias 2004).

El efecto más notable de la malla sobre el microclima, es la reducción en la transmisividad de la radiación solar, siendo esto el cociente entre la radiación interior y exterior del invernadero de malla. Dependiendo de la porosidad de la misma, se ha demostrado, en múltiples estudios, que se reduce los picos de radiación global y PAR (Leyva 2014).

Las mallas negras, como la utilizada en la práctica dirigida, absorben todas las longitudes de onda, reflejando menos radiación tanto hacia el exterior como bajo la malla (Murillo 2009).

La temperatura es un parámetro que es afectado en este tipo de estructuras principalmente por la altura. En estudios realizados al respecto, se indica que, en casas de sombra con una altura mayor a los 2 m, se puede reducir la temperatura del aire y la de la hoja (Leyva 2014). También va a depender del tamaño de la estructura, tipo de material y porcentaje de sombreado (Jiménez et al 2002).

La humedad relativa (HR) se define como un porcentaje de la relación entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor de equilibrio del agua a una temperatura definida. Por lo tanto, este parámetro es dependiente de la temperatura y la presión del sistema (Brenes 2016). Fluctúa con el cambio de la temperatura del aire, transpiración de las plantas, altura de la estructura, entre otros (Murillo y Sánchez 2016).

Cuando la HR es alta, el uso del agua en la planta es lento. Conforme se reduce, aumenta la transpiración de la planta, hasta que se produce un cierre de estomas para minimizar la pérdida de agua y eventualmente se presenta marchitamiento. Consecuentemente, se reduce la velocidad de la fotosíntesis, por lo que se ve afectado el crecimiento (Perry 2017).

Los grados día se definen como la diferencia existente entre la temperatura media del día en una localidad específica y una temperatura base de desarrollo para un cultivo determinado. Es utilizado para expresar el tiempo fisiológico de los cultivos, ya que este mide las temperaturas necesarias para los procesos bioquímicos de las plantas (Méndez 2015). Es un parámetro que permite pasar el tiempo cronológico (días), que es influenciado por múltiples factores ambientales, a tiempo fisiológico, que es determinado solamente con la temperatura. Se ha demostrado que la temperatura es la que controla los eventos bioquímicos en las plantas, como lo es el fin del ciclo. El tiempo fisiológico tiene como principio que existe una relación lineal entre la temperatura y el crecimiento de la planta (Méndez 2015)

Otros parámetros son importantes en tanto ayudan a describir mejor las propiedades y calidad del material con el que se trabaja, en este caso las mallas de sombreado:

La transmitancia se define como la cantidad de luz en una determinada longitud de onda que atraviesa un cuerpo, en un tiempo definido. Por su parte **la absorbancia** es la cantidad de luz en cierta longitud de onda que es refractada al incidir en un cuerpo traslúcido (la malla en este caso específico), en un tiempo definido. Consecuentemente la absorbancia es lo opuesto a la transmitancia (Leyva 2014).

Características generales de las especies de hortícolas bajo estudio

Cebollino (*Allium schoenoprasum*): El centro de origen de este género se cree que fue el Asia central, donde luego pasó a ser domesticado en regiones como el oriente próximo y el Mediterráneo (Vallejo y Estrada 2004).

La temperatura óptima para su cultivo es de 14 °C, con temperaturas máximas de 30 °C y mínimas de 7 °C. Este cultivo se produce tanto en suelos arcillosos como en francos, preferiblemente con el pH entre 6,0 y 6,5 (Araya 2012).

Col china (*Brassica rapa L. ssp. pekinensis*): Su origen se sitúa en el Extremo Oriente. El óptimo de desarrollo de la col china está en 18-20 °C. Y el óptimo para la formación de cogollos está entre los 15-16 °C. A los 8°C se detiene el crecimiento de la planta (Fuevo et al 1988).

Se desarrolla en suelos de textura media, porosos y que retenga la humedad. El pH ideal está entre 6,5 y 7. Se reportan problemas de crecimiento en pHs alcalinos y ácidos. Es sensible a la presencia de humedad en el suelo (Fuevo et al 1988).

Vainica (*Phaseolus vulgaris*): El cultivo requiere suelos livianos, bien drenados y de pH entre 5,6 a 6,5. Tolera altas temperaturas. El rango óptimo se encuentra entre los 20 y 26°C, la temperatura máxima se encuentra entre 35-37 °C y la mínima 10 °C (MAG 1991).

La humedad relativa óptima del aire durante la primera fase de cultivo es del 60 a 65 %, y posteriormente oscila entre el 65 y el 75%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y dificultan la fecundación. Es importante que se mantenga sin excesivas oscilaciones de humedad (MAG 1991).

Rúgula (*Eruca vesicaria ssp. sativa*): La rúgula es originaria del sur de Europa y Asia. Es una especie que crece bien con temperaturas frías. Pertenece a la familia Brassicaceae. El exceso de calor y el sol provocan un gusto excesivamente amargo y favorecen la floración. Las temperaturas óptimas para el cultivo están entre 25 y 27° C. La temperatura mínima para el crecimiento es de 10°C. El ciclo de cultivo es muy corto, de 40 a 60 días (Flores 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La práctica dirigida fue realizada en una casa de malla ubicada en la propiedad de una familia del asentamiento El Maná, beneficiarios del CNP. Situada en el distrito 5° Cariari, Cantón 2 Pococí, Provincia Limón, Latitud: 10°22'05"N, Longitud: 83°44'24"O, elevación: 50 msnm. La zona de vida Holdridge predominante en el sitio es bosque muy húmedo tropical.

Periodo de realización de la práctica dirigida

Se llevó a cabo en el año 2019, y consistió en dos ciclos de siembra de los cultivos de cebollino, col china, vainica y rúgula, en ambientes interno y externo a la casa de malla. El primero se desarrolló del día 9 de abril al 31 de mayo, época que se caracteriza por ser caliente y lluviosa. El segundo ciclo inició el 15 de septiembre y concluyó el 7 de noviembre, con predominancia de clima caliente y seco.

Descripción de la estructura empleada

El área total del módulo de producción es de 700 m², el área de cultivo efectiva es de 450 m². El módulo tiene un ancho de 23,5 m, un largo de 30 m y una altura de 3,5 m. La estructura se sostiene mediante postes de acero galvanizado, colocados a una distancia de 7,5 m. En la parte superior, un cable de acero recubierto, asegura el tejido de la cubierta monofilamento color negro (para términos prácticos en adelante se empleará el término "sarán"), con un porcentaje de 30% de sombra.

En la figura 1 se muestran las dimensiones estructurales de la casa de sombra utilizada:

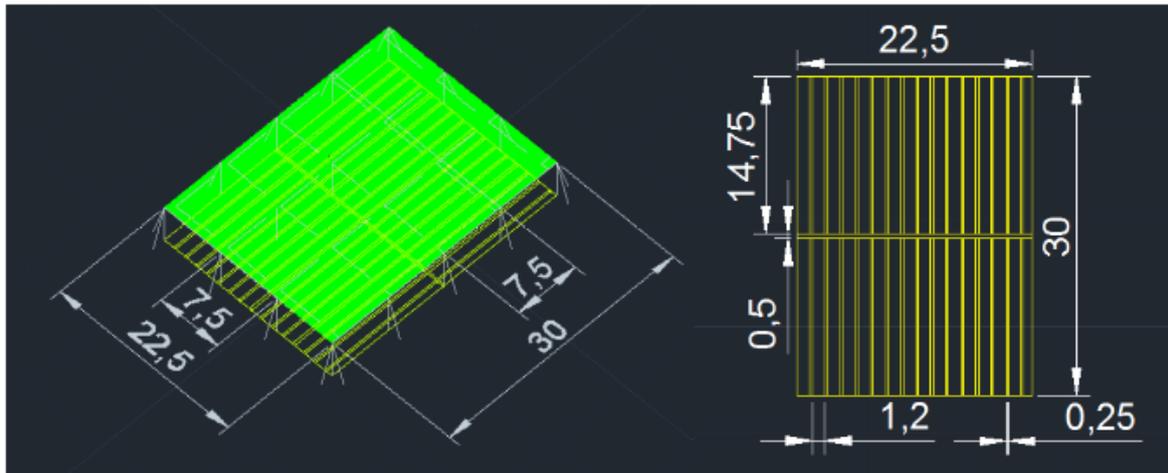


Figura 1. Vista 3D con sarán; cotas en metros y distribución de las camas de siembra de 1,2 metros de ancho y 0,25 metros entre calles (FAO, según Miranda et al 2015).

Mediciones climáticas

Al inicio de la práctica se colocó un sensor de radiación solar PAR, temperatura y humedad relativa (marca WatchDog, modelo 2475 Plant Growth Station), para registrar dichas variables, dentro de la casa de malla. En la parcela exterior se colocó una barra con sensores para registrar luz PAR. Al finalizar la práctica se solicitaron al Instituto Meteorológico Nacional (IMN) datos de humedad relativa (%) y temperatura (°C) de la estación meteorológica de Cantagallo, latitud 10° 29' 48"N, longitud 83° 40' 28"O, a una altitud de 20 msnm, ubicada también en el cantón de Pococí, a 14 Km del sitio de la práctica, con el fin de realizar comparaciones con los datos registrados en el interior de la estructura. Esta información permitió la caracterización climática de los ambientes de producción externo e interno.

Tratamientos

Se realizaron dos unidades experimentales de 15 m² cada una: la parcela externa, que se sembró a campo abierto y la parcela interna, dentro de la estructura de la casa de sombra, influenciada

por el sombreado en todo momento. El análisis químico del suelo de ambas parcelas se muestra en el Anexo 1.

Ambas parcelas estaban constituidas por cuatro especies hortícolas: cebollino, col china, vainica y rúgula. Se consideraron tres repeticiones. Cada repetición estuvo conformada por 16 puntos de siembra que conformaban una unidad experimental. La distribución de las unidades experimentales se realizó a partir de un diseño experimental irrestricto al azar, utilizando el mismo patrón para las parcelas interna y externa (Figura 2).

R-3	CC-3	R-2	C-3	V-3	C-2	C-1	CC-2	V-2	V-1	CC-1	R-1
-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	------	-----

Figura 2. Distribución de las repeticiones en la parcela interna y externa, donde: C: Cebollino, CC: Col china, R: Rúgula, V: Vainica y 1,2 y 3: número de repetición.

Manejo agronómico

Las parcelas interna y externa se trataron con idéntico manejo agronómico, siendo la única variable la influencia de la sombra debido al sarán de 30%. A continuación, se describe el manejo de cada ciclo de siembra.

Primer ciclo

Se realizó la preparación del terreno con zacho y pala, seguido de un rastrillado profundo. Se incorporó al suelo un saco de abono orgánico, cuyo análisis químico se adjunta en el anexo 2, a razón de 15 kg por parcela.

Una semana después, se encaló con cal líquida SUR KAL (54% CaO, 6% N) en drench, a una dosis de 40 l/ha. Para el riego se utilizó un sistema por goteo, el cual funcionó con una bomba de un caballo de potencia. La fuente de agua es un pozo, cuyo análisis reportó una conductividad eléctrica de 0,06 mS/s y un pH 5,6. A las eras se les colocó mulch plata/negro de 1,5 mm de espesor y 1,3m de ancho.

El primer ciclo se inició con el trasplante del almácigo de alta calidad de rúgula, cebollino y col china y la siembra directa de la vainica, a razón de 3 semillas por punto. El almácigo provino de la empresa Inversiones Almatropic S.A y la semilla de vainica de la Estación Experimental Fabio Baudrit. Se trabajó con un espaciamiento de 20 cm entre plantas en un formato de cuadrícula. Se realizó una fertilización al suelo en dos ocasiones La primera se suministró a la siembra, con una fórmula 10-30-10, 2 kg en cada parcela. La segunda se realizó a los 28 días desde el trasplante (DDT), con una fórmula hidrocomplex 12,4-11,4-17,7-0-2,65-8, a razón de 5 g por punto de siembra. Debido a los bajos niveles de bases en el suelo y el ciclo corto de los cultivos seleccionados, se realizó una aplicación quincenal de manera alternada del fertilizante Vitalex (Fertilizante orgánico con algas marinas, enriquecido con elementos mayores y menores) a una dosis de 3 cc por litro y cal líquida SUR KAL (25 cc por litro), ambos por vía foliar.

Para el control fitosanitario se utilizaron productos conocidos por los productores dueños de la estructura. Se realizó una aplicación semanal de un insecticida, alternando los siguientes productos: Xentari (*Bacillus thuringiensis*) a 2,5 g por litro, utilizado para el control de Lepidoptera (polillas y mariposas), Diptera (moscas y mosquitos), Coleoptera (escarabajos), Hemiptera (chinchas) y nemátodos (gusanos); y Rimac (Piretroide), a una dosis de 3 cc por litro, para controlar plagas como Escarabajo (*Leptinotarsa decemlineata*), Gusano alfiler (*Keiferia lycopersicella*), Minador del follaje (*Liriomyza sp*), Gusano soldado (*Spodoptera exigua*). De igual manera, se utilizaron dos fungicidas: Sincocin (Nematicida-Fungicida Botánico), que mejora la capacidad de una planta para resistir una variedad de patógenos y estrés ambiental a una dosis de 0,5 cc por litro y Benomil (50%Wp), utilizado contra hongos ascomicetes, imperfectos y basidiomicetes, a una dosis de 5 g por litro.

Segundo ciclo

El segundo ciclo consistió en una repetición del primero en una época climática distinta, por lo que se utilizaron los mismos cultivos y diseño experimental. El 10 de setiembre, se realizó una desinfección del terreno con *Trichoderma asperellum* (2.5×10^9 esporas viables + micelio y metabolitos secundarios) a razón de 6 l/ha y *Bacillus thuringiensis var israelensis*, a razón de 12 l/ha.

El día 15 de setiembre se inicia la siembra. Se utilizó la fórmula 7-27-7, MgO 7, CaO 12,6, S 1,2, SiO₂ 12, para la fertilización de las parcelas, a razón de 2 Kg por parcela. Se utilizó una fórmula que contiene silicio, ya que, aunque no se ha catalogado como elemento fundamental para las plantas, ha demostrado ser beneficioso para las paredes celulares en cuanto a resistencia al ingreso de patógenos, además de neutralizar la absorción de hierro que se encuentra en grandes cantidades en el suelo de las parcelas (Anexo 1). La segunda fertilización al suelo se realizó el 31 DDT con hidrocomplex, 5 g por punto de siembra.

Como apoyo a la fertilización se aplican por vía foliar el fertilizante Vitalex (3 cc/l) y la cal líquida Ecogreen (CaO 22%, MgO 12% p/v) a razón de 25 cc/l semanalmente, de forma alternada.

En base a las observaciones del primer ciclo, se mantuvieron los mismos insecticidas, aplicados alternados de manera semanal, pero se realizaron algunos cambios en los productos para el control de enfermedades. Así, se utilizó de manera semanal y alternada Control phyt (Cu 9,26% p/v) (0,7 cc por litro), eficiente contra *Phytophthora sp*, *Plasmopara viticola*, *Pseudoperonospora cubensis*, *Bremia lactucae*; además de inducir a la producción de fitoalexinas. El mismo se alternó con los otros ya utilizados anteriormente como Benomil y Sincocin.

Evaluaciones

Se midió la longitud de la hoja más desarrollada de cuatro plantas por repetición, en los cultivos de cebollino, col china y rúgula, para dar seguimiento al crecimiento de las plantas. A la cosecha, se tomaron cuatro diferentes plantas por repetición, se determinó el peso (g), la longitud de la hoja más desarrollada (cm), promedio de producción por metro cuadrado (g/m²), días a cosecha y grados día acumulados (GDA). En el caso de las vainicas el promedio por metro cuadrado (g/m²), días a cosecha y grados día acumulados (GDA).

Para determinar los grados día durante la totalidad del ciclo de cada hortaliza, se utilizó la fórmula que plantea Méndez (2015), para determinar los grados día (GD):

$$GD = ((T_{\text{mín}} + T_{\text{máx}}) / 2) - T_{\text{base}}$$

En donde:

- $T_{\text{mín}}$ = Temperatura mínima diaria
- $T_{\text{máx}}$ = Temperatura máxima diaria
- T_{base} = Temperatura base (Por debajo de la cual se detiene el crecimiento)

Las temperaturas base utilizadas para cada hortaliza fueron: para el cebollino, 7°C (Araya 2012); para la col china, 8°C (Fuevo et al 1988); para la vainica, 10°C (MAG 1991) y para la rúgula; 10 °C (Luque 2013).

Para determinar los GDA se realizó la sumatoria de el número GD del ciclo de cada hortaliza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Información meteorológica

Luz PAR

En la Figura 3, se presentan los promedios de luz PAR del primer (A) y segundo (B) ciclo respectivamente.

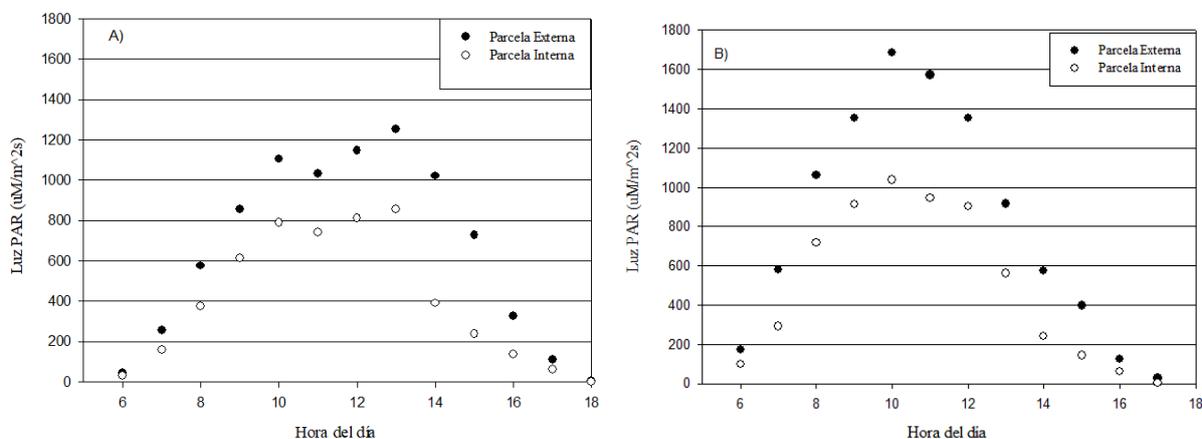


Figura 3. Promedio de luz PAR en la parcela interna y externa del A) primer ciclo y B) segundo ciclo, en casa de sombra en la localidad de Cariari, Pococí. 2019

El primer ciclo abarcó los meses de abril a mayo de 2019, mientras que el segundo ciclo, de septiembre a noviembre de 2019. Presentan marcadas diferencias en el comportamiento del transcurso de las horas de luz. En la figura 3A se puede notar dos modas de incidencia de luz PAR marcados en el transcurso del día, uno sucede a las 10 horas, con una incidencia de $1.104,81 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en la parcela exterior y en la parcela interior $788,83 \mu\text{mol } \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Se encontró una disminución de 28% de luz PAR en la parcela interna en comparación con la externa, dejando en evidencia que el sombreado está funcionando cercano a lo establecido, que es un 30%. El otro se presentó a las 13 horas, con un registro de $1.251 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en la parcela exterior y un $854,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en la parcela interior. En la figura 3B, correspondiente al segundo ciclo del cultivo, se registró un pico de radiación PAR, a las 11 horas, donde en la parcela externa se registró $1.773,55 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y en la interna $996,15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

El primer ciclo presenta un comportamiento bimodal (Brenes, 2020. Comunicación personal²), debido a una anomalía causada por la interacción de la orografía del lugar con el viento alisio proveniente del Caribe, que genera movimientos ascendentes y cuyo resultado es aumento de nubosidad que produce atenuación en la radiación incidente. Esta anomalía no ocurrió en los meses de setiembre a noviembre porque los vientos son más débiles, razón por la que el comportamiento de la curva de radiación PAR es unimodal. En esa época del año, la zona se caracteriza por menores precipitaciones y mayor radiación.

Según Taiz y Zeiger (2006), las plantas tienen una capacidad de asimilación de luz determinada. La saturación en la producción de fotoasimilados se presenta cuando se encuentran sometidas a flujos fotónicos muy altos. Los valores de saturación se encuentran entre los 1.000 a 1.500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Larcher 2001).

Urrestarazu et al (2016), en un estudio sobre cantidad y calidad de luz en diferentes cultivos, reportan un rango entre 52-85 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ como una cantidad de luz PAR baja para lograr producción en una serie de cultivos hortícolas. Esta cantidad de luz se logró alcanzar sin problema desde las primeras horas del día dentro de la estructura, en ambos ciclos.

En las horas de mayor incidencia en la casa de sombra, según muestra la Figura 3, la parcela externa en ambos ciclos, sobrepasa estos niveles, lo que puede causar en la planta fotoinhibición. Este fenómeno se refiere a la inhibición de la fotosíntesis cuando la radiación excesiva, se produce un daño en el aparato fotosintético, causando una disminución en la absorción de CO_2 y la liberación de O_2 . De mantenerse el estrés por tiempos prolongados, la fotoinhibición puede llegar a ser irreversible (Soto y Méndez 2016). Esto aunado a otros factores de estrés, aumenta el potencial del efecto. En la parcela interna, la malla logró reducir la incidencia y evitó que se alcanzaran los niveles de estrés, lo que supone una eficiencia mayor en la actividad fotosintética en dicha parcela en comparación con el ambiente externo.

² Brenes, Álvaro. 2020. Ing. Meteorólogo. Coordinador e investigador del Proyecto VAS ED 3220. Instituto de Investigaciones Agrícolas, UCR.

Temperatura

La Figura 4, muestra los promedios de temperatura en las 24 horas del día del primer y segundo ciclo.

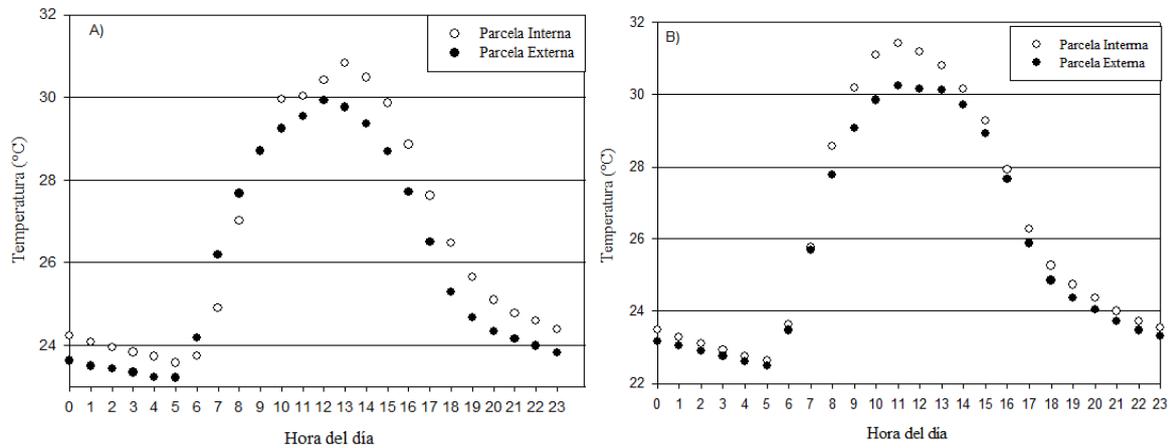


Figura 4. Promedio de temperatura en la parcela interna y externa del A) primer ciclo y B) segundo ciclo, en casa de sombra en la localidad de Cariari, Pococí. 2019

En la figura 4 A se puede apreciar el mismo comportamiento bimodal que coincide con las horas de mayor incidencia de luz. Los máximos de temperatura registradas fueron a las 11:00 horas, 30°C en la parcela interna y 29°C en la parcela externa. El otro pico se registró a las 13:00 horas, 30,9°C en la parcela interna y 29,9°C en la externa. La temperatura mínima se registró a las 5:00 horas, en la parcela externa y fue de 23,2°C. En la parcela interna se registró 23,5°C a la misma hora. Es posible notar que, en todos los registros, exceptuando de 6:00 a 7:00 horas, los datos de temperatura son ligeramente mayores en el interior de la casa de sombra que en el exterior.

En la figura 4 B, que corresponde al segundo ciclo del cultivo, se registró una temperatura máxima de 31,4°C a las 11:00 horas en la parcela interna y 30,2°C en la parcela externa. La temperatura mínima registrada fue de 22,6°C a las 5:00 horas en la parcela interna, mientras que en la parcela exterior se obtuvo 22,4°C. En este caso, en todos los datos registrados, la temperatura en la parcela interior fue ligeramente mayor que la exterior.

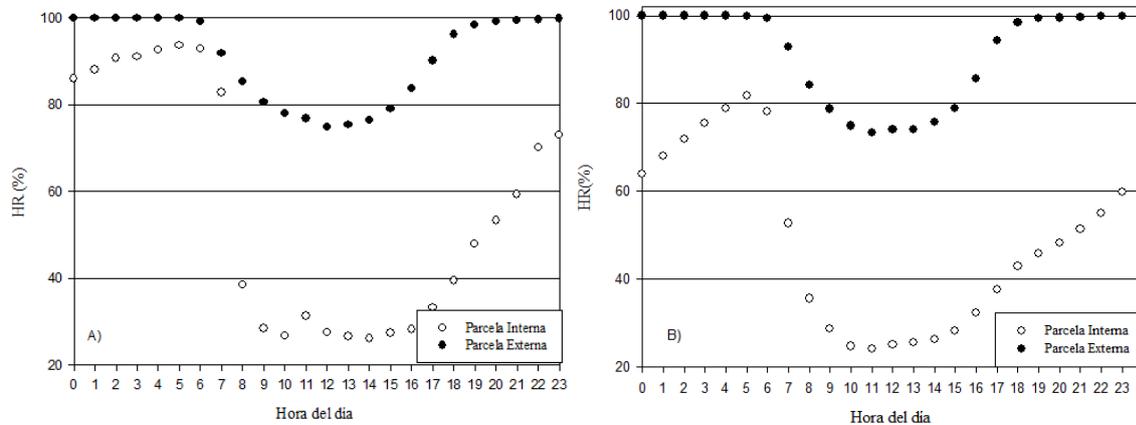
En la posible apreciar que los datos de temperatura tienen poca variación en los valores internos en cuanto a los externos, presentando una diferencia de menos de 2°C. Es importante señalar que los datos de temperatura utilizados en la Figura 4 fueron tomados de dos fuentes: los datos internos *in situ* y los datos externos fueron proporcionados por el IMN, de la estación meteorológica ubicada en Cariari, a 14 Km del sitio de la práctica, lo que implica una incertidumbre en la interpretación de la información.

El sarán negro utilizado en la estructura produce sombra porque atrapa la radiación solar directa, la cual debe ser luego disipada como calor sensible. Así, el flujo de aire dentro de la estructura puede verse afectado por el mismo sarán. Además, éste tiende a tener una temperatura mayor que la del suelo dentro de la casa de sombra, dos factores que al final alteran la salida del aire caliente. En algunos casos, la velocidad del viento es amortiguada por la distancia que deben recorrer las masas de aire dentro, promoviendo una mayor temperatura dentro de la estructura, en comparación con afuera (Gutiérrez et al 2002).

Según la Figura 4 (A y B), en ambas parcelas, en los puntos máximos de temperatura, se llega a los 30°C y en ciertos casos, se sobrepasa dicha temperatura, lo que puede ser perjudicial para las plantas. Para algunas plantas esta temperatura inhibe la floración (Guevara y Jiménez 2006). Temperaturas por encima de los 30°C, además de ser un factor que contribuye a la fotoinhibición, puede causar fotorrespiración de las plantas C3. La fotorrespiración es común en condiciones cálidas y secas. Los estomas de la planta se cierran para evitar la pérdida de agua. Debido a ello, la enzima rubisco actúa como la enzima oxidasa, captando O₂ en lugar de CO₂. La planta puede llegar a reducir hasta un 50% su capacidad fotosintética (Soto y Méndez 2016).

Humedad Relativa

La humedad relativa (HR) está directamente relacionada con la temperatura, y en la Figura 5, se registran los valores promedio para esta variable que se presentaron en el transcurso de 24 horas del primer y segundo ciclo.



Figuras 5. Promedio de humedad relativa (HR) en la parcela interna y externa del A) primer ciclo y B) segundo ciclo en casa de sombra en la localidad de Cariari, Pococí. 2019

En este caso, en ambos ciclos, se registró menor HR en la parcela interna en comparación con la parcela externa. En el primer ciclo se registró la mayor HR a las 5:00 horas; 99,9% en la parcela exterior y 93,6% en la interior. Por su parte, la HR menor registró en la parcela interior un comportamiento bimodal, una a las 10:00 horas (26,8%) y otra a las 13:00 horas (26,1%), coincidiendo con las figuras 3A y 4A. La menor humedad relativa registrada en la parte exterior fue 74,8% a las 12:00 horas.

En el segundo ciclo se registraron humedades relativas de 100% de las 0:00 a las 4:00 horas, en la parcela externa. En la parcela interna se registró la máxima HR a las 5:00 horas, 82,4%. Las HR mínimas se registraron a las 11:00 horas, siendo de 24,2% en el interior de la estructura y de 73,4% en el exterior.

En este caso, al igual que la figura 4, los datos de HR del exterior, fueron proporcionados por el IMN.

Se puede explicar que, al presentarse condiciones de alta radiación en el transcurso del día (Figura 3), se producen efectos como el aumento proporcional de la temperatura del aire. Al ser la humedad relativa inversamente proporcional a la temperatura del aire, es posible notar que los mínimos de la misma coinciden con los máximos de temperatura.

A medida que aumenta la temperatura conservando la misma masa de agua contenida en el aire en forma de vapor, la humedad relativa disminuye, y por lo tanto disminuye también la presión del vapor de agua. Al tener HR baja en la parcela interna, se aumenta la transpiración, ya que la fuerza impulsora de la transpiración es la diferencia de presiones de vapor entre el agua de la hoja y el agua en el aire (Larcher 2001). Esto puede significar un eficiente flujo de agua en la planta, por ende, un mejor aprovechamiento de los insumos agrícolas y riego. En HR muy altas, como las que se presentan en el exterior de la casa de sombra, el uso de agua es muy lento, lo que por su parte también hace menos eficiente el proceso de fotosíntesis.

La proliferación de microorganismos patógenos como la *Phytophthora*, *Alternaria*, *Stemphylium*, *Pseudomonas* y *Xanthomonas*, se ven seriamente afectados por HR bajas, dificultando su reproducción y desarrollo (Perry 2017). Lo que puede ser beneficioso en un clima como el de la zona estudiada que, por su naturaleza, presentan HR muy alta todo el año.

Crecimiento de la planta

Para acompañar el registro del crecimiento de las plantas en campo, se realizaron mediciones de la longitud de hoja a lo largo del ciclo. Se tomaron mediciones en cuatro diferentes plantas por cada repetición para las hortalizas cebollino, col china y rúgula.

El cebollino se desarrolla en plantas provistas de un bulbo poco marcado, más similar a un rizoma. Las hojas crecen de manera erecta, cilíndricas y huecas con un diámetro entre los 2 y 3 mm, color verde grisáceo, aspecto ceroso, ligeramente aplanadas en la base, con una banda estriada rodeando el tallo (Bonilla y Pérez 2010). Arias y Arias (2012) en un estudio realizado en el cultivo de cebollino para determinar fertilización y densidades de siembra, reportaron longitudes de hoja entre los 35,7 y 26,6 cm, siendo 25x25 cm la densidad de siembra donde se reportaron las longitudes de hoja mayores. Alcibiades y Fariña (2009), en un estudio de siete variedades de cebollino en una densidad de siembra de 60x20 cm, reportan longitudes de hoja desde los 47, 19 a los 54,9 cm.

La col china presenta hojas verticales, alargadas, dentadas, con unas nerviaciones muy marcadas y un color verde claro brillante. Se desarrolla en forma de roseta. Las hojas llegan a alcanzar entre los 30 y 40 cm de altura (Fuevo et al 1988).

La rúgula es una planta erguida, de tamaño medio, con una roseta basal de hojas partidas, de hasta 20 cm de largo, con el lóbulo terminal más grande, las superiores son más pequeñas y menos profundamente divididas (Flores 2013). Correa (2010), en condiciones de invernadero reporta una longitud promedio de longitud de hoja 19,8 cm, para este cultivo. Luque (2013), reporta longitudes de longitudes entre 10,3 a 19,3 cm y un número de hojas de 10,3 a 15,3 cm, en una densidad idéntica a la utilizada en la práctica, bajo invernadero de plástico.

La figura 6 muestra los resultados la longitud promedio de hoja de los tres anteriores cultivos mencionados a lo largo del primer ciclo, mientras que la figura 7 presenta los resultados del

segundo ciclo. También se consideró el número de hojas al momento de cosecha en los cultivos de cebollino, col china y rúgula.

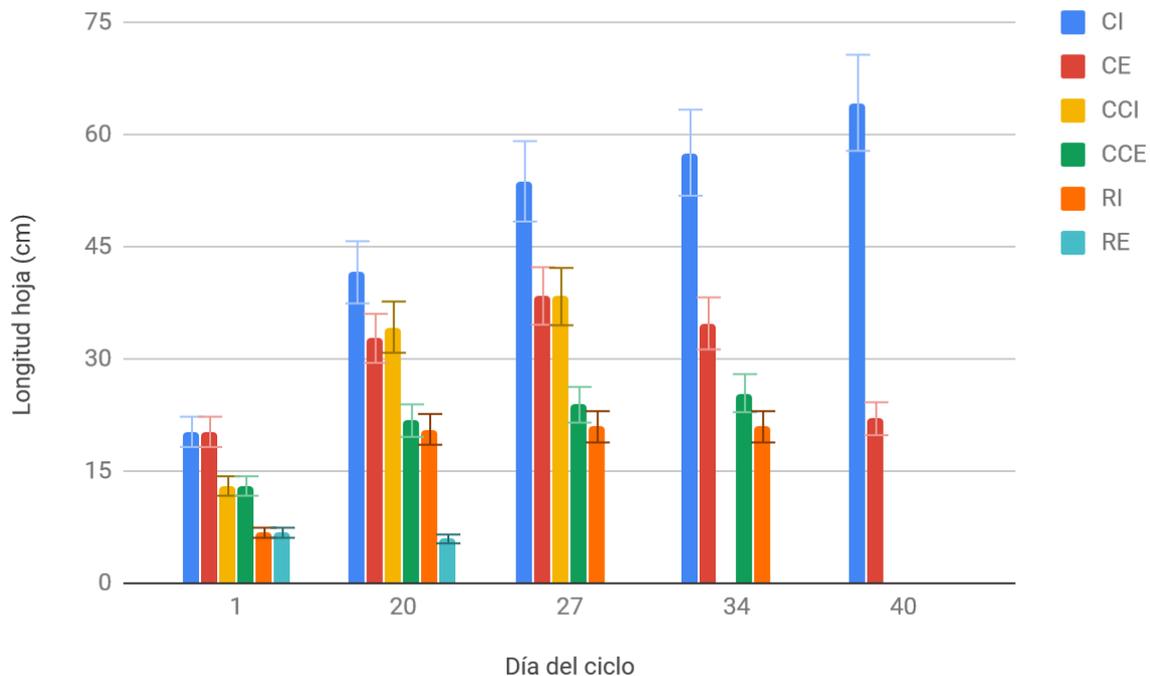


Figura 6. Longitud de la hoja más desarrollada en los 1, 20, 27, 34 y 40 DDT (primer ciclo), en los cultivos de cebollino, col china y rúgula. Cariari, Pococí. 2019. Donde C: Cebollino, CC: Col china, V: Vainica, R: Rúgula, I: Parcela interna, E: Parcela externa.

Según la figura 6 es posible notar que, en todas las evaluaciones, la parcela interna muestra valores mayores que la externa, sin que se traslapen las barras de error. A continuación, se hará una descripción del comportamiento de cada cultivo en particular y el número de hojas a cosecha.

Cebollino (*Allium schoenoprasum*): Para el primer ciclo, para la evaluación del 20 DDT, la parcela interna reportó 41,58 cm, mientras que la externa 32,7 cm, presentando un 21,2% más altura en la parcela interna que en la externa. Siete días después, la parcela interna reportó una altura de 53,75 cm, al tiempo que la externa reportó 38,42 cm, con una diferencia porcentual 28,5%. A los 34 DDT, la parcela interna reportó una altura de 57,58 cm y la externa 34,75 cm; aquí la diferencia porcentual fue de 39,6%. Cabe mencionar que en este caso se nota una menor

altura en la evaluación de 27 DDT que en 34 DDT en la parcela externa. Esta disminución en el tamaño del follaje se puede explicar por una quemadura ocasionada por el sol y las lluvias, que causaron afectación en las puntas.

En cuanto a las longitudes en el momento de la cosecha, entendiéndose que la parcela externa tuvo un ciclo más largo (15 días), se reportó un promedio de largo de hoja de 64,25 cm, mientras que la externa midió 22 cm, una diferencia porcentual de 65,7%. Totalizando el número de hojas por planta promedio, se registró 4,47 en la parcela interna y 3,75 en la parcela externa, con una diferencia de 16%. Estos números demuestran que las condiciones de mayor exposición al ambiente (fuera de la casa sombra) desfavorecieron el número y tamaño de la hoja, perjudicando por tanto el rendimiento y consecuentemente el valor comercial del cultivo.

Col china (*Brassica rapa L. ssp. pekinensis*): La col china tuvo el ciclo más corto de las cuatro hortalizas estudiadas en el primer ciclo. A los 20 DDT, la parcela interna se reportó 34,25 cm, mientras que la externa 21,75 cm, una diferencia porcentual de 36%. La cosecha de la parcela interna se realizó a los 27 DDT, reportando una longitud de hoja de 38,33. La cosecha de la parcela externa se llevó a cabo 34 DDT, con una longitud promedio de la hoja más desarrollada de 25,42 cm. Así la diferencia de esta variable al momento de la cosecha fue de 33,7% favorable a la parcela interna. De nuevo, la protección brindada por el sarán negro de la casa sombra benefició al cultivo. No hubo diferencia en cuanto a número de hojas, 12,5 en ambas parcelas.

Rúgula (*Eruca vesicaria ssp. sativa*): En el primer ciclo, se reportaron muchas complicaciones con la parcela externa. A los 20 DDT, la parcela interna reportó una longitud hoja de 20,58 cm, mientras que en la parcela externa se reportó sólo 5,9 cm, 71% de diferencia. La seria afectación causada por el sol y las lluvias, dio al traste con el desarrollo de la rúgula en el ambiente externo, por lo que se concluye que no es una planta apta para cultivarse en ambientes a campo abierto en esta zona del Caribe costarricense. En la evaluación a los 27 y 34 DDT, solo la parcela interna tenía plantas de rúgula de valor comercial, presentando longitudes de hoja de 20,9 cm

en ambas fechas de evaluación. En la cosecha (34 DDT), la parcela interna reportó un promedio de número de hojas por planta de 19,5. No se presentan datos de hojas para la parcela externa, dado que el cultivo no llegó a cosecharse.

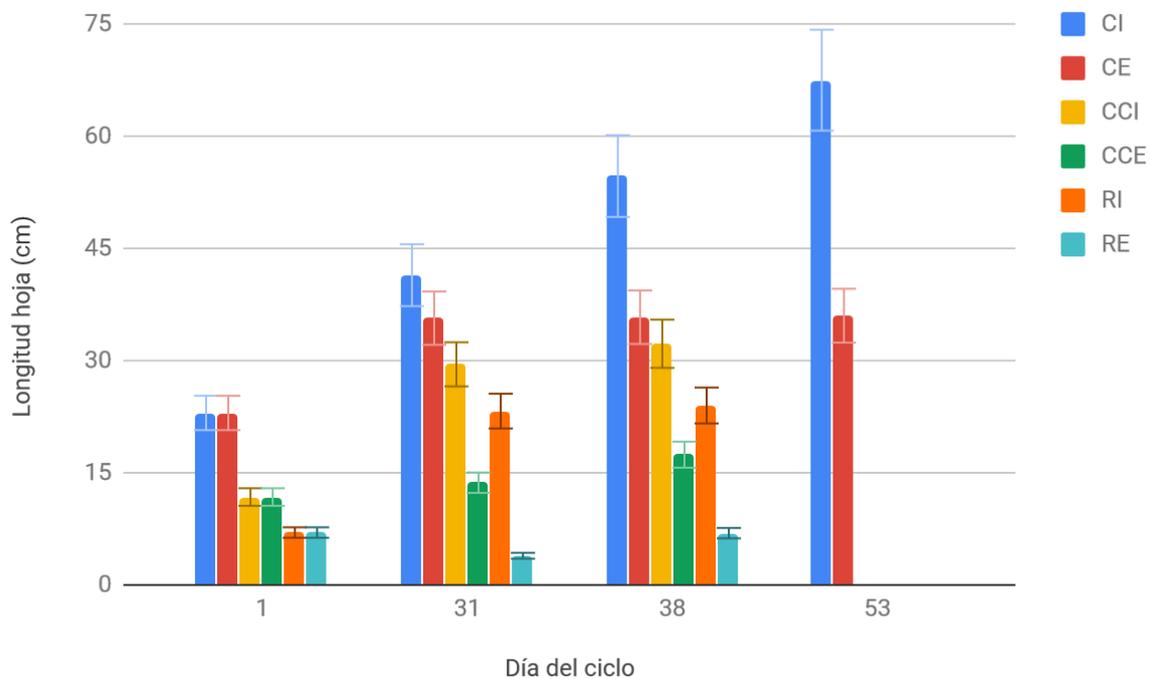


Figura 7. Longitud de la hoja más desarrollada a los 1, 31, 38 y 53 DDT (segundo ciclo), en los cultivos de cebollino, col china y rúgula. Cariari, Pococí. 2019. Donde C: Cebollino, CC: col china, V: vainica, R: rúgula, I: parcela interna, E: parcela externa.

Para el segundo ciclo de esta práctica dirigida (Figura 7) se reportó, al igual que en la figura 6, que en todas las evaluaciones, la parcela interna muestra valores superiores de longitud de hoja que la externa, sin traslapar las barras de error.

Cebollino (*Allium schoenoprasum*): Para el segundo ciclo, el cebollino reportó un crecimiento superior en la parcela interna a partir de la evaluación hecha 31 DDT. Se reportó 41,58 cm en la parcela interna, mientras que en la externa 32,7 cm, presentando un 13% de diferencia. 38 DDT, la parcela interna reportó una altura de 53,75 cm y la externa 38,42 cm, con una diferencia porcentual 32,9%. A los 53 DDT, se realizó la cosecha de ambas parcelas. Aquí en

la parcela interna se presentó una longitud de hoja promedio de 67,5 cm y en la externa 36 cm. Esta diferencia de 31,5 cm, representa 46,6% mayor favorable a la parcela interna afectada por el sombreado de la malla. En cuanto a número de hojas promedio se registró en la parcela interna 4,5 y mientras en la parcela externa fue de 4, significando una diferencia de 11,1%.

En los estudios previamente mencionados de Bonilla y Pérez (2010), Arias y Arias (2012) y Alcibiades y Fariña (2009), se reportan longitudes de hoja entre los 26,6 y 54,9 cm. Se puede verificar que, la parcela interna mostró longitudes superiores en el cultivo, tanto en el primer (64,25 cm) como en el segundo (67,5cm) ciclo.

Col china (*Brassica rapa L. ssp. pekinensis*): En el segundo ciclo, 31 DDT, la parcela interna reportó 29,5 cm y la externa 13,67 cm de longitud de hoja, representando una diferencia porcentual de 53,6%. Al momento de realización de la cosecha (38 DDT), se reportó 32,25 cm en la parcela interna y en la parcela externa 17,42 cm, presentando una diferencia porcentual de 37,7%. En cuanto a número de hojas promedio la parcela interna registró un promedio de 19,75 y la parcela externa solo 11,5. Esta diferencia representa un porcentaje de 41,8%.

Las longitudes de hoja reportadas en la parcela interna en el primer ciclo (38,33 cm) y el segundo ciclo (32,25 cm), se encuentran en el rango normal de crecimiento de la hortaliza, las longitudes van desde 30 a los 40 cm (Fuevo et al 1988).

Rúgula (*Eruca vesicaria ssp. sativa*): En el caso de la rúgula a los 31 DDT, la parcela interna reportó 23,25 cm y la externa sólo 3,9 cm, con una diferencia porcentual de 83,2%. 38 DDT se realizó la cosecha. Las longitudes de hoja reportadas en ese momento fueron 24 cm en la parcela interna y 6,92 cm en la externa, un 73% de diferencia.

En cuanto a número de hojas la parcela interna registró un promedio de 29,83 hojas por planta, mientras que solo se contabilizaron en promedio 6,25 de hojas en la parcela externa. En esta circunstancia, una diferencia del 79%.

Lo que ubica los resultados obtenidos en rangos aceptables para el cultivo, ya que el primer ciclo, la parcela interna reportó longitudes de hoja de 20,9 cm, mientras que el segundo ciclo 24 cm, comparados con los datos de literatura mencionados, que se mencionan rangos entre los 10 y los 20 cm (Flores 2013) (Correa 2010) (Luque 2013).

En todos los casos anteriores se logró demostrar que, bajo sombra, las plantas alcanzaron un mayor tamaño de hoja, como lo afirma García (2007). Caparrós et al (2005), informan que el sombreo también favorece el índice de área foliar y la densidad estomática; esto como respuesta para incrementar la cantidad de radiación interceptada por el cultivo. Si bien estos últimos dos parámetros no se determinaron en esta investigación, es de suponer que la mayor longitud de hoja y el mayor número de hojas encontrados en la parcela interna en los cultivos, que en todos los casos fue mayor, de cebollino, col china y rúgula, significarían una misma respuesta a la encontrada por ese autor en cuanto al área foliar y la densidad estomática.

Productividad

La productividad de los cultivos es una forma eficiente de medir la relación entre la cantidad de producto obtenido por unidad de superficie de cultivo, en este caso específico se utilizaron gramos por metro cuadrado (g/m^2). Cambios en la productividad se pueden lograr con mejoras tecnológicas. En el aspecto económico, es uno de los parámetros más importantes, que pueden justificar el uso de la herramienta tecnológica.

En el cultivo de cebollino, un estudio de siete variedades en densidades de siembra de 60x20 cm, reporta producciones que van desde 2.025 y 1.909 g/m^2 , en ciclos de 45 DDT (Alcibádes y Fariña 2009).

En el cultivo de la col china, Bailón (2008) en un estudio de rendimiento de diferentes variedades y densidades del cultivo en cuestión, reporta rendimiento de 11.937,4 y 8.253,2 g/m^2 , en densidades de 40x40 cm, en ciclos de 42 DDT.

Con la variedad de vainica utilizada en la práctica, en condiciones agroecológicas y de atención favorables al cultivo, se pueden obtener rendimientos de hasta 6000 g/m^2 (Hernández 2020. Comunicación personal³).

La rúgula, reporta rendimientos de 3.140 g/m^2 , con una densidad de siembra de 20x16 cm, y ciclos de 45 DDT (Luque 2013). En otros estudios, donde se realizaron siembras de este cultivo en sustrato bajo invernadero, se reportaron rendimientos de 1000,8 g/m^2 , para una densidad de 16 plantas por metro cuadrado (Correa 2010). Romina (2012) reportó productividades de 2.500 g/m^2 , con una densidad de 16 plantas por metro cuadrado, en túneles de plástico, en ciclos de 50 DDT.

A continuación, se presentan los datos de productividad y grados día acumulados para cada una de las cuatro hortalizas en el primer ciclo, donde predominó el clima caliente y lluviosa; y el segundo ciclo, donde imperó el clima caliente y seco.

³ Hernández, Juan Carlos. 2020. Investigador en Granos Básicos. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Costa Rica.

Cebollino (*Allium schoenoprasum*): El cuadro 1, presenta los datos referentes a la productividad, días a cosecha y GDA en el cultivo del cebollino, en el primer y segundo ciclo, en ambientes con y sin sombreado.

Cuadro 1. Promedio de peso por planta (g), producción por metro cuadrado (g), días a cosecha y grados día acumulados (GDA) del cultivo de cebollino en el primer y segundo ciclo, en ambientes con (parcela interna) y sin (parcela externa) sombreado en casa sombra. Cariari, Pococí, 2019.

Parcela	Primer Ciclo		Segundo Ciclo	
	Interna	Externa	Interna	Externa
Promedio peso planta (g)	32,50 ± 2	23,33 ± 10	34,17 ± 2	8,98 ± 0,2
Producción por m ² (g)	2437,50	1750,00	2562,50	673,83
Días a cosecha	40	55	53	53
Grados día acumulados (GDA)	924,95	1195,05	1443,35	1208,85

*GDA en la parcela externa para el primer ciclo al día 40 DDT = 895,65 GDA

En el primer ciclo, se cosechó la parcela interna 40 DDT, debido a que se estaban presentando afectaciones como el doblado en las puntas, probablemente asociado a las lluvias de la época. La parcela externa se cosechó 55 DDT, con el fin de intentar obtener un grado de desarrollo en la planta similar a la parcela interna, lo que deja en evidencia la influencia del sombreado en la precocidad del cultivo.

En el segundo ciclo fue posible determinar una mayor diferencia entre el desarrollo de la parcela interna con la externa, mostrándose mejor en la parcela interna. Ambas parcelas se cosecharon simultáneamente 53 DDT, con el fin de comprobar las diferencias puntuales en cuanto al desarrollo de las plantas.

De acuerdo con el Cuadro 1, en el primer ciclo la parcela interna registró una producción de cebollino de 2437,5 g/m², mientras que la externa 1750 g/m². Esto resulta en una diferencia de 687,5 g/m², que significa un 28% más de rendimiento en el ambiente con sombra.

En el segundo ciclo, la parcela interna reportó una productividad por metro cuadrado de 2562,5 g/m², mientras que la externa registró 673,83 g/m², con una diferencia de 1888,7 g/m² entre ella, lo que corresponde a un 73%.

Es necesario señalar que, en el primer ciclo, la diferencia entre producciones es menos marcada que en el segundo ciclo, debido que, en el primer ciclo, la parcela externa, como ya fue indicado, se alargó 15 días con respecto a la interna. Esos 15 días adicionales de ciclo en la parcela externa contribuyeron a la ganancia de masa reportada. Con los datos del segundo ciclo, cosechando simultáneamente las parcelas de cebollino, resulta evidente que en la región es poco viable la siembra del cultivo en condiciones de campo abierto; en ese sentido, el uso del sarrán al 30% permitió una cosecha razonable, lo que indica que esta tecnología es funcional para obtener este tipo de producción hortícola en una condición agroecológica no tradicional para las hortalizas. Según los estudios previamente mencionados de Bonilla y Pérez (2010), Arias y Arias (2012) y Alcibiades y Fariña (2009), el rendimiento del cultivo se sitúa entre los 1.900 y 2.000 g/m² y ciclos de 45 días, la parcela interna, tanto en el primer (2437,50 g/m²) y segundo ciclo (2562,5 g/m²) reportaron productividades que superan la expectativa.

Con respecto a la diferencia entre la producción de la parcela interna en el primer y segundo ciclo, el segundo presentó una producción ligeramente mayor que la del primero (4,5 %).

En cuanto a días a cosecha, en el primer ciclo, la parcela interna tuvo un menor ciclo (40 DDT) que el segundo (53 DDT), con una diferencia de 13 días, probablemente acelerada por las condiciones de mayor humedad observadas debido a las frecuentes lluvias acaecidas en ese primer ciclo.

Los GDA, el primer ciclo reportó en la parcela interna 924,95 GDA y la parcela externa 1195,05 GDA. Cabe destacar de nuevo que fueron cosechadas con 15 días de diferencia. Al calcular los GDA al día 40 DDT de la parcela externa, haciéndola comparable con la parcela

interna, fue de 895,65 GDA. Para el segundo ciclo se determinó para la parcela interna 1443,35 GDA y para la externa 1208,85 GDA.

Col china (*Brassica rapa L. ssp. pekinensis*): La col china se comportó de manera muy diferente en los dos ciclos (Cuadro 2) y se mostró como una planta muy sensible a las condiciones ambientales de la zona.

Cuadro 2. Promedio de peso por planta (g), producción por metro cuadrado (g), días a cosecha y grados día acumulados (GDA) del cultivo de col china en el primer y segundo ciclo, en ambientes con (parcela interna) y sin (parcela externa) sárán en casa sombra. Cariari, Pococí, 2019.

Parcela	Primer Ciclo		Segundo Ciclo	
	Interna	Externa	Interna	Externa
Promedio peso planta(g)	220,00 ± 97	151,17 ± 53	306,67 ± 60	48,33 ± 22
Producción por m ² (g)	5126,67	3779,17	7666,67	1208,33
Días a cosecha	27	34	38	38
Grados día acumulados (GDA)	596,2	735,2	1030	832,2

*GDA en la parcela externa para el primer ciclo al día 27 DDT = 577,4 GDA

En el primer ciclo, época que destacó por ser caliente y muy lluviosa, en la tercera semana, se empezaron a mostrar claros signos de presencia de hongos y bacterias, además de plagas como *Spodoptera frugiperda*, lo que a la postre determinó la productividad del cultivo. La parcela interna se cosecha 27 DDT, ya con una afectación notable por los agentes mencionados. La parcela externa se dejó una semana más y se cosechó a los 34 DDT, con el fin de investigar si con un ciclo de cultivo mayor era capaz de alcanzar la misma producción que la interna.

En el segundo ciclo, las lluvias fueron mucho menos frecuentes e intensas que en el anterior, lo que favoreció el desarrollo del cultivo, corroborado con la menor afectación de plagas en la parcela interna. Por su parte, la parcela sin sombra (externa) estuvo muy estresada. Las plantas, pese a la disponibilidad de riego, se veían con síntomas de deshidratación y las hojas quemadas.

En el Cuadro 2 se ven los promedios de producción del primer ciclo, mostrando una mayor producción en la parcela interna, que fue de 5.126,67 g/m², mientras que el ambiente sin sombra presentó 3.779,17 g/m². Esa diferencia de 1.347,5 g/m², significó una productividad 26,28% mayor en el ambiente con sombreado.

En el segundo ciclo se registró de igual manera una mayor producción en la parcela interna, con un promedio de producción por metro cuadrado de 7666,67 g/m² y la externa 1208,33 g/m². Eso da una diferencia de 6.458,34 g/m², lo que significa un promedio de 84%.

La parcela interna reportó en el primer ciclo una producción (5.126,67 g/m²) 33,1% menor en comparación al segundo ciclo (7.666,67 g/m²), siendo ambas producciones aceptables en cuanto a los rangos estudiados que van desde los 8.000 a los 12.000 g/m² (Bailón 2008).

Al igual que en el caso del cebollino, la diferencia de la productividad para la col china fue mucho más marcada entre los ambientes interno y externo durante el segundo ciclo. En ese segundo ciclo, con condiciones climáticas más favorables a la producción, se alargó el ciclo del cultivo hasta en 11 días respecto del primer ciclo. Esto permitió un rendimiento más alto en la parcela interna, comprobando los efectos benéficos del sarán. Mismo beneficio observado en el primer ciclo, donde la productividad interna fue mayor a la externa y con una semana más de precocidad en la cosecha.

En cuanto a días a cosecha, tanto el primer (27 DDT) como el segundo ciclo (38 DDT), reportaron mayor precocidad, en cuanto a estudios realizados anteriormente mencionados de Fuevo et al (1988) y Bailón (2008), en (42 DDT).

En lo referente a GDA, la parcela interna reportó para el primer ciclo (27 DDT), 596,2 GDA y la externa (34DDT), 735,2 GDA. Para equiparar los datos se determinó los GDA para la parcela interna a los 27 DDT y fue de 577,4 GDA. Para el segundo ciclo se determinó, para la parcela interna 1.030 GDA y para la externa 832,2 GDA.

Vainica (*Phaseolus vulgaris*): Para el cultivo de a vainica, solo fue posible obtener producción cuando se llevó el cultivo dentro de una casa sombra (Cuadro 3).

Cuadro 3. Producción por metro cuadrado (g) y grados día acumulados (GDA), del cultivo de vainica en el primer y segundo ciclo, en ambientes con (parcela interna) y sin (parcela externa) sombreado en casa sombra. Cariari, Pococí, 2019.

Parcela	Primer Ciclo		Segundo Ciclo	
	Interna	Externa	Interna	Externa
Producción por m ² (g)	3007,81	-	3609,38	-
Grados día acumulados (GDA)	1154,35	-	1365,35	-

Durante el primer ciclo, la parcela interna se vio muy afectada por plagas y enfermedades, principalmente por vaquitas (*Cerotoma ruficornis*) y mildiú (*Pseudoperonospora cubensis*), ambos problemas relacionados con las fuertes lluvias. En el segundo ciclo las afectaciones fueron mínimas. En ambos ciclos no se logró producción en la parcela externa, lo que indica que las condiciones agroecológicas de la zona de Cariari de Pococí, no permiten el establecimiento exitoso de parcelas productivas de vainica, con el sistema utilizado en la presente práctica. Dentro de los síntomas notados, está que en el primer ciclo hubo poco desarrollo en las plantas y graves afectaciones por plagas y enfermedades, mientras que, en el segundo ciclo se presentaron quemaduras por el sol inmediatamente después de la emergencia.

Se observó una mayor producción en el segundo ciclo, con un incremento de producción por metro cuadrado de 16,66%. Se toman como aceptables dichos valores, ya que, aunque la variedad reporta rendimientos mayores, las condiciones no eran las ideales.

En este cultivo, por su naturaleza se realizaron en su totalidad cuatro cosechas en ambos ciclos, sin embargo, relacionado a los días a cosecha no mostraron mayores diferencias. En el primer ciclo la primera cosecha se dio a los 40 DDT y la última 51 DDT, mientras que, para el segundo ciclo, la primera cosecha fue a los 39 DDT y la última 53 DDT.

Respecto a GDA se cuantificó para el primer ciclo 1154,35 GDA (51 DDT) y para el segundo ciclo 1365,35 GDA (53 DDT).

Rúgula (*Eruca vesicaria ssp. sativa*): Este cultivo también mostró mucha afectación cuando es plantado en ambientes sin sombreado. Los resultados de productividad y días a cosecha se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Promedio de peso por planta (g), producción por metro cuadrado (g), días a cosecha y grados día acumulados (GDA) del cultivo de rúgula en el primer y segundo ciclo, en ambientes con (parcela interna) y sin (parcela externa) sombra en casa sombra. Cariari, Pococí, 2019.

Parcela	Primer Ciclo		Segundo Ciclo	
	Interna	Externa	Interna	Externa
Promedio peso planta (g)	81,67 ± 35	-	95,83 ± 15	2,00 ± 0,4
Producción por m ² (g)	2041,67	-	2395,83	50,00
Días a cosecha	40	-	53	53
Grados día acumulados (GDA)	866,45	-	1342,55	1129,35

En el primer ciclo, el crecimiento de las plantas en el ambiente exterior fue muy irregular y apenas se desarrollaron mínimamente por espacio de tres semanas, pero sin poder llegar a cosecharse. Lo mismo se presentó en esa parcela en el segundo ciclo, esta vez afectadas por el fuerte sol, aunque aquí hubo una mínima cosecha.

En la parcela interna en el primer ciclo se reportó una producción promedio por metro cuadrado de 2.041,67 g/m², mientras que en el segundo ciclo fue de 2.395,83 g/m², 14% más alta en este segundo ciclo. Según los estudios de rendimientos ya mencionados, que van desde los 1.000 a los 3.000 g/m², los valores obtenidos para ambos ciclos se encuentran en el rango normal del cultivo (Flores 2013) (Correa 2010) (Luque 2013).

La parcela interna reportó menos días a cosecha en el primer ciclo (40 DDT), mientras que en el segundo ciclo se registró 53 DDT, una diferencia de 13 días atribuibles a la diferencia

climática de los periodos estudiados, concretamente el volumen de precipitación que acortó el primer ciclo. En los estudios antes mencionados, donde se reporta un rango de 45 a 50 DDT, ambos ciclos se encuentran cerca de los mismos, con diferencias mínimas.

En los datos de GDA se reportó para el primer ciclo, en la parcela interna 866,45 GDA, la externa no reportó. En cuanto al segundo ciclo se reportó para la parcela interna 1.342,55 GDA y la externa 1.129,35 GDA.

Todos los resultados de productividad obtenidos en los cuatro cultivos estudiados, indican una mayor producción en la parcela interna que en la externa. Según lo indica Berrones et al (2013), se puede esperar, dependiendo del cultivo y la ubicación, producciones de hasta cinco veces mayores que a campo abierto. Esto puede ser justificado debido a que el exceso de radiación solar puede afectar la fisiología de las plantas, siendo más perjudicial el exceso de luz que un leve sombreo. Una reducción razonable de luz, en este caso particular con un 30% de sombreo, ha demostrado ser beneficioso en cuanto a la productividad obtenida, según lo corroborado en esta investigación. Al reducir la radiación directa con la influencia de la casa de sombra se evita la fotoinhibición y la fotooxidación (quema) en los cultivos, contribuyendo a mejorar el rendimiento y la calidad del producto (Soto y Méndez 2016). Esto se pudo apreciar en todos los casos, donde la parcela interior reportó mayores producciones, incluso alargando los ciclos de la parcela externa, como se realizó en el primer ciclo.

En todos los casos, excepto en la vainica para ambos ciclos y la rúgula en el primer ciclo, que no reportaron datos para la comparación, se reportó una mayor acumulación de GDA en la parcela interna, logrando que la planta alcanzara completar su ciclo fisiológico a cosecha más rápidamente. Hoyos et al (2012) en un estudio de dos diferentes variedades de pepino, demostraron que una mayor acumulación día influye directamente en la precocidad del cultivo, logrando un ahorro en cuanto a niveles económicos y un menor impacto ambiental, por la reducción del uso de insumos.

Conclusiones

- Se demostró que el uso de esta herramienta productiva fue efectiva en cuanto a manejo energético de luz PAR en los picos máximos de incidencia en el transcurso del día. En el interior de la casa de sombra, nunca se sobrepasó los $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, logrando plantas menos estresadas. Por otra parte, se alcanza desde las primeras horas de la mañana un flujo de fotones mínimo necesario para la producción de hortalizas.
- En cuanto a temperaturas, se reportaron levemente mayores en el interior de la estructura en comparación con el exterior, fomentando una mayor acumulación de grados día en los cultivos dentro de la estructura con respecto a los del exterior, lo que logró acelerar los procesos fisiológicos en la planta, acortando los ciclos a cosecha.
- Lo referente a humedad relativa, se reportan valores menores en el interior de la estructura, lo que puede ser beneficioso en una zona de humedades relativas altas todo el año, evitando la proliferación de patógenos. Una menor humedad relativa regula el cierre y apertura estomática, fomentando la eficiencia en la absorción de nutrientes, y por ende, mejor aprovechamiento de insumos y agua disponible.
- En cuanto al comportamiento de las hortalizas dentro de la estructura, el cebollino presentó una productividad alta en ambos ciclos, la rúgula presentó una productividad dentro de los rangos normales, también en ambos ciclos. La col china y la vainica, presentaron productividades por debajo del rango esperado en ambos ciclos, sin embargo, aceptables, tratándose de una zona no apta para la producción de hortalizas.
- Los resultados obtenidos en general validan el uso de este tipo de tecnología en la zona.

Recomendaciones

- Es necesario un mayor desarrollo de investigaciones y tecnología en la zona. Así como el seguimiento cercano y participativo de los actores involucrados, gubernamentales o privados. Para esto es importante generar espacios de capacitación, tanto para los técnicos como para los productores.
- Para futuras investigaciones al respecto, se recomienda la toma de datos *in situ*, ya que, debido a las condiciones en las que se realizó la presente práctica, no se contó con el equipo necesario para la toma de datos de temperatura y humedad relativa externa, lo que limitó la generación de conclusiones más precisas.
- Debido a las abundantes lluvias en la zona, se recomienda el uso de techos de plásticos como herramienta tecnológica complementaria, ya que han demostrado ser efectivos en el interior de las estructuras, incluso ello puede mejorar las condiciones inmediatas para el desarrollo, aumentar la calidad y gama de cultivos potenciales.
- Profundizar en el estudio de programas de fertilización y manejo fitosanitario, ya que se tuvieron desviaciones estándar significativas, lo que se traduce en cosechas poco uniformes, principalmente en los cultivos de col china y rúgula, ya que, al no tratarse de una zona tradicional de producción de hortalizas, existe poca información respecto al manejo de estos temas diseñado para ese tipo de regiones.
- Realizar pruebas en lo referente a altura de la estructura y materiales de la malla. Módulos más altos y materiales, como mallas termo reflectoras, han demostrado efectividad en cuanto a disminución de la temperatura interna, que sobrepasa en los picos de incidencia de luz, los 30°C. Aunque los GDA reportaron datos mayores, se debe dar un ambiente propicio para las plantas, evitando el estrés por temperaturas (fotorrespiración y fotoinhibición) y beneficiando al productor a la hora de trabajar en el interior de la estructura, con condiciones más frescas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcibíades, RG y Fariñas, J. 2009. Evaluación agronómica de siete clones de cebollín (*Allium fistulosum L.*) durante tres ciclos de cultivo, en el municipio Caripe, estado Monagas, Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Venezuela. 1
- Araya, G. 2012. Manual de recomendaciones para el cultivo de cebolla (*Allium cepa L.*). Ministerio de Agricultura y Ganadería ISBN 978-9968-586-12-2. San José, Costa Rica. 8-11.
- Arias, GA y Arias, FI. 2012. Evaluación agronómica del cultivo de cebollín (*Allium schoenoprasum*) con dos tipos de fertilizantes y tres densidades de siembra, en la parroquia puebo cantón quito. Tesis para optar por el grado de ingeniero agrónomo. Universidad Estatal de Bolívar. Quito, Ecuador. 51
- Bailón, E. 2008. Sistema de siembra en el rendimiento de col china (*Brassica chinensis L.*) variedad 'wong bock' en Tingo Maria. Tesis para optar por el grado de licenciatura. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú. 23-27
- Berrocal, L. 1996. Producción de follajes para la exportación. Congreso Agronómico y de recursos naturales, 1º edición, San José, Costa Rica, EUNED, EUNA.171-177.
- Berrones, M; Garza, E; Vasquez, E; Méndez, R. 2013. Casa-malla, tecnología para producción de hortalizas en el sur de Tamaulipas. Folleto para Productores No. MX-0-310305-52-03-14-10-19 ISBN: 978-607-37-0032-0. Tamaulipas, México. 9
- Brenes, G. 2016. Desarrollo de un ambiente controlado para la producción de hortalizas para la Empresa Indigo Drones. Tesis Licenciatura. Cartago, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

- Bonilla, CR y Pérez, IM. 2010. Cebollín (*Allium schoenoprasum L.*). Producción y manejo postcosecha. Universidad Nacional de Colombia. ISBN: 978-958-719-666-5. 35-36.
- Briones, C. 2016. Casas Sombra en el Asentamiento Bajo Reyes, San Vito de Coto Brus (en línea). Boletín del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo Ambientes Protegidos. Boletín número 56 del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo Ambientes Protegidos, ISSN-1656-4401, 8-9. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP10%2856%29.pdf>
- Caparrós, I., Medrano, E., García, M.L., Sánchez-Guerrero, M.C., Bothelo, R. y Lorenzo, P. 2005. El sombreado móvil exterior del invernadero efecto sobre el microclima, la eficiencia en el uso del agua y la producción de un cultivo de pepino bajo diferentes niveles de salinidad de la solución nutritiva. Actas Portuguesas de Horticultura 5(1):91-96.
- Correa, MT. 2010. Evaluación de la densidad de siembra sobre el rendimiento y la calidad organoléptica de rúcula de hoja larga (*Eruca sativa mill.*) cultivada en dos épocas de siembra: invierno y primavera. Universidad de Talca. Chile. 25
- Flores, MA. 2013. Efecto del extracto de jugo de brócoli en la inhibición *Alternaria alternata* (Fries) en arúgula (*Eruca sativa mill*) mínimamente procesada. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 32-34
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2002. Agricultura mundial: Hacia los años 2015/2030. Informe resumido. ISBN 92-5-304761-5.
- Fuevo, MA; Coque, M; Arrieta, A. 1988. Posibilidades de cultivo de la col china (*Brassica pekinensis L.*) en Asturias. Consejería de Agricultura y Pesca del Principado de Asturias. Información Técnica. 5-16

- García, M.L. 2007. Refrigeración de invernadero: Influencia sobre la Bioproductividad y la eficiencia en el uso del agua en un cultivo de tomate en sustrato sometido a distintos niveles de salinidad. Tesis doctoral. Universidad de Almería. 291.
- Guevara, E y Jiménez, V. 2006. La reproducción de las plantas. Volumen 5. 1 edición. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Gutiérrez, MV; Jiménez, K; Soto, D; Alpízar, M; Chinchilla, C. 2002. El microclima en una casa de sombra: palmas y Zamia como indicadores de aclimatación a la luz. Revista Zamia como indicadores de aclimatación a la luz. Revista Zamiade Agricultura Tropical 32: 47-60.
- Gutiérrez, M.V. y Jiménez, K. 2007. Crecimiento de nueve especies de palmas ornamentales cultivadas bajo un gradiente de sombra. Agronomía Costarricense 31(1): 9-19.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales (en línea). 1 ed. San José, Costa Rica ISBN: 978-9968-683-96-8 Consultado el 25 de junio del 2019. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/U40-10581.pdf>
- Hoyos, D; Morales, JG; Chavarría, H; Montoya, AP; Correa, G; Jaramillo, C. 2012. Acumulación de Grados-Día en un Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.) en un Modelo de Producción Aeropónico. Revista Facultad Nacional Agrícola de Medellín 65(1): 6389-6398. 3
- Jiménez, K; Gutiérrez, MV; Murillo, G. 2002. Calidad de la Luz y producción de follajes ornamentales en casas de mallas de colores (ChromatiNety®). Brochure Estación experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela. Costa Rica. 2-5
- Larcher, W. 2001. Physiological Plant Ecology. 4° edition. 357-360

- Leyva, R. 2014. Sistemas de refrigeración en un invernadero de malla: efectos sobre el microclima, productividad y respuestas de las plantas de un cultivo de tomate. Tesis doctoral. Granada, España. Universidad de Granada. 65-70.
- Luque, C. 2013. Efecto de diferentes abonos orgánicos en el comportamiento agronómico de la rucula (*Eruca sativa*) en ambiente protegido en Cota Cota. Tesis Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 61
- Marín Thiele, F. 2010. Cuantificación y Valoración de Estructuras y Procesos de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos en Costa Rica. Proyecto FITTACORI F-02-08. 28-4.
- Marín Thiele, F. 2015. Agricultura protegida en el plan piloto del CNP para incorporar productores de agricultura familiar en los comedores escolares. PronNAPID-42. 1-6
- Méndez, C. 2006. Concepto de Ambientes Protegido (En línea). Boletín 1 del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo Ambientes Protegidos, ISSN-1656-4401, 2-4. Consultado 12 de diciembre 2018. Disponible en: [http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/boletinAP1\(1\).pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/boletinAP1(1).pdf) _
- Méndez, C. 2015. Edad fisiológica de los cultivos: grados día. Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo Ambientes Protegidos APB-094. Alajuela, Costa Rica.
- Méndez, C. 2016. Concepto de Agricultura Protegida para el Trópico Latinoamericano (en línea). Boletín 54 Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo Ambientes Protegidos ISSN-1656-4401, 2-4. Consultado el 22 de febrero del 2018. Disponible en: [http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP9\(54\).pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP9(54).pdf)

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 1991. Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. San José, Costa Rica.

Miranda, L; Gamboa, G; Fallas, A. 2015. Incorporación de Unidades de Agricultura Familiar para Comedores Escolares Mediante el PAI, CNP y otros Mercados Alternativos. San José, Costa Rica. 2-7

Moreno, A; Aguilar, J; Luevano, A. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. Revista Mexicana de Agronegocios 15(29):763-774

Murillo, G. 2009. Uso de Mallas de Color en la Agricultura Moderna (en línea). Boletín número 16 Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo Ambientes Protegidos ISSN-1656-4401, 2-4. Consultado el 16 de setiembre del 2018. Disponible en: [https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP3\(16\).pdf](https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP3(16).pdf)

Murillo, G y Sánchez, D. 2016. Producción de Hortalizas en la Región Chorotega mediante Ambientes Protegido (en línea). Boletín 61 del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo Ambientes Protegidos ISSN-1656-4401, 2-4. Disponible en: [http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP11\(61\).pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP11(61).pdf)

Noreña, J. 2018. Corpoica firma convenio de cooperación internacional para trabajar en agricultura protegida con hortalizas de clima cálido. Revista digital Agronet. Consultado el 10 de junio del 2019. Disponible en:

<https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Corpoica-firma-convenio-de-cooperaci%C3%B3n-internacional-para-trabajar-en-agricultura-prottegida-con-hortalizas-de-clima-c%C3%A1lido.aspx>

- Peery, J. 2017. ¿Cómo influye la humedad en la calidad de los cultivos? (en línea). Pthorticulture. Consultado el 4 de mayo del 2018. Disponible en: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/como-influye-la-humedad-en-la-calidad-de-los-cultivos/>
- Rabobank. 2018. The 2018 World Vegetable Map (en línea). Rabobank research. Consultado el 26 de abril del 2020. Disponible en: https://research.rabobank.com/far/en/sectors/regional-food_agri/world_vegetable_map_2018.html
- Raffo, MD; Iglesias, N. 2004. Efecto de la intercepción y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en manzanos CV. Fuji, bajo cuatro sistemas de conducción en alta densidad. Revista de Investigaciones Agropecuarias ISSN: 0325-8718. 29-37.
- Romina, N. 2017. Evaluación del efecto del cultivo de rúcula (*Eruca vesicaria*) en invernadero sobre la salinidad del suelo. Tesina presentada para obtener el grado académico de ingeniero en recursos naturales y medio ambiente. Universidad de la Pampa, Argentina.
- 61
- Solórzano, M. 2013. Atlas Nacional de Ambientes Protegidos de Costa Rica (en línea). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Consultado el 3 de abril del 2018. Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3154/atlas_nacional_ambientes_protegidos_cr.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Soto, F y Méndez, C. 2016. Evaluación de casas sombra en San Vito, Coto Brus. Informe FAO. Alajuela, Costa Rica. 5-23
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2006. Plant physiology. Third edition. New York, Sinauer. 37-28

Urrestarazu, M; Nájera, C; Gea, MM. 2016. Effect of the Spectral Quality and Intensity of Light-emitting Diodes on Several Horticultural Crops. HortScience 51(3): 268-271.

Vallejo, FA y Estrada, EI. 2004. Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia ISBN: 958-8095-28. Palmira, Colombia. 143-150.

Vargas, A; Blanco, F. 2004. Metodologías para estimar la intensidad de desmane en racimos de banano (*Musa AAA, cv. Valery*). CORBANA 30(57): 107-119

Villamontes, E. 2013. Agricultura protegida en México: potencia mundial y desarrollo tecnológico (en línea). Revista digital Productores de Hortalizas. Consultado el 24 de enero del 2018. Disponible en:

<https://www.hortalizas.com/cultivos/tomates/agricultura-protegida-en-mexico-potencia-mundial-y-desarrollo-tecnologico/>

Wien, H.C. 1997. The physiology of vegetable crops. 65-70

ANEXOS

Anexo 1. Análisis químico de suelo de la parcela interna y externa.

 UNIVERSIDAD DE COSTA RICA		CIA Centro de Investigaciones Agronómicas											
CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES REPORTE DE ENSAYO RE-R01 (V2)													
N° DE REPORTE:	70526												
USUARIO:	ADRIANA FALLAS CAMPOS												
RESPONSABLE:	ADRIANA FALLAS CAMPOS												
CORREO:	adrifallas1@hotmail.com												
TELÉFONO:	8325-8271												
PROVINCIA:	LIMON	ANÁLISIS:	QC,CN										
CANTÓN:	POCOCI	FECHA RECEPCIÓN:	01/04/2019										
LOCALIDAD:	CARIARI	EMISIÓN DE REPORTE:	10/04/2019										
CULTIVO:	SIN CULTIVO	N° DE MUESTRAS TOTAL:	2										
		PÁGINA:	1/2										
ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS													
Solución Extractora:		pH	cmol(+)/L				%	mg/L					
KCl-Olsen Modificado		H₂O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
ID USUARIO	ID LAB	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
PARCELA INTERNA	S-19-02050	4,9	1,35	5,82	0,52	0,23	7,92	17	5	1,9	12	355	7
PARCELA EXTERNA	S-19-02051	4,3	2,94	1,18	0,70	0,69	5,51	53	4	1,8	15	570	12
-----ULTIMA LINEA-----													
Los valores debajo de cada elemento corresponden con los Niveles Críticos generales para la solución extractora usada CICE=Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva=Acidez+Ca+Mg+K SA=Porcentaje de Saturación de Acidez=(Acidez/CICE)*1													

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS					
		mS/cm	%		Relación
		CE	C	N	C/N
ID USUARIO	ID LAB	1,5			
PARCELA INTERNA	S-19-02050	0,2	4,03	0,36	11,2
PARCELA EXTERNA	S-19-02051	0,5	4,19	0,39	10,7
-----ULTIMA LINEA-----					
OBSERVACIÓN: El % C y N total se determinaron con el Autoanálizador de C/N por combustión seca. Los valores de % C total correlacionan muy bien (R ² =0,95) el % de MO. Si quiere estimar el valor del % MO a partir del dato de % C total determinada con esta metodología, multiplique el % C total por 1,43.					

Anexo 2. Análisis químico del abono orgánico utilizado en la preparación del suelo de las parcelas interna y externa.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

CIA Centro de
Investigaciones
Agronómicas

CIUDAD DE LA INVESTIGACIÓN
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES

REPORTE DE ENSAYO

RE-R01 (V2)



N° DE REPORTE:	70527	ANÁLISIS:	QC
JSUARIO:	ADRIANA FALLAS CAMPOS	FECHA RECEPCIÓN:	01/04/2019
RESPONSABLE:	ADRIANA FALLAS CAMPOS	EMISIÓN DE REPORTE:	12/04/2019
CORREO:	adrifallas1@hotmail.com	N° DE MUESTRAS TOTAL:	1
TELÉFONO:	8325-8271	PÁGINA:	1/2
PROVINCIA:	LIMON		
CANTÓN:	POCOCI		
LOCALIDAD:	CARIARI		
CULTIVO:	ABONO SOLIDO		

ANÁLISIS QUÍMICO DE ABONOS ORGÁNICOS

ID USUARIO	IDLAB	% masa						mg/kg				
		N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
SOL: ABONO ORGANICO COMERCIAL	AO-19-00189	2,41	0,70	1,88	0,60	3,38	0,60	10805	47	178	472	16

-----ÚLTIMA LÍNEA-----

ANÁLISIS QUÍMICO DE ABONOS ORGÁNICOS

ID USUARIO	IDLAB	%	H ₂ O	mS/cm	%	Relación
		HUM	pH	CE	C	C/N
SOL: ABONO ORGANICO COMERCIAL	AO-19-00189	35	7,7	17,2	30,05	12,5

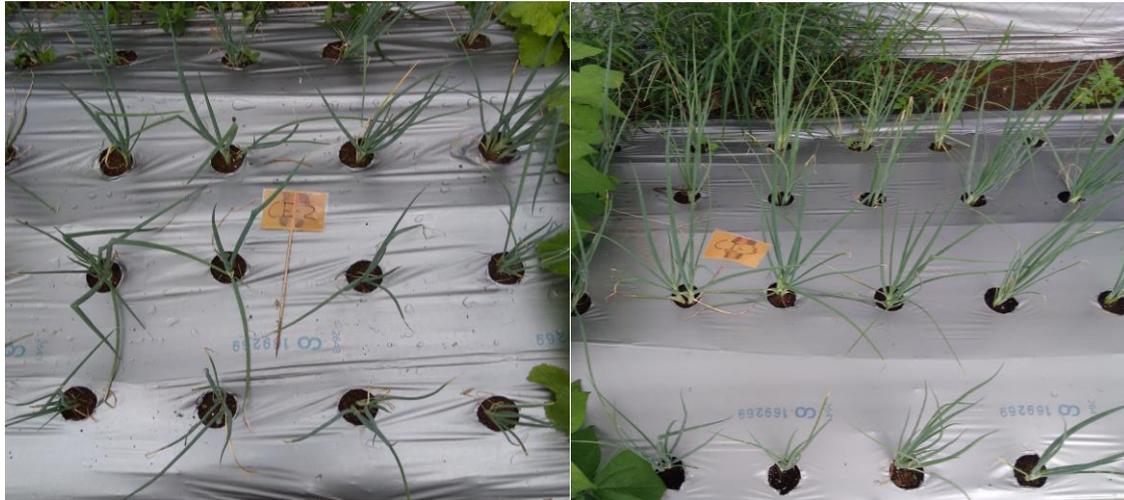
-----ÚLTIMA LÍNEA-----

Nota: - El % C y N totales se determinaron con el Autoanálizador de C / N por combustión seca. Los valores de % C total correlacionan muy bien ($R^2 \geq 0,95$) con el % de MO. Si quiere estimar el valor del % MO a partir del dato de % C total determinado con esta metodología, multiplique el % C total por 1,43. La CE fue determinada en una proporción de 10 g de material: 35 mL de agua, hasta alcanzar el punto de saturación de la pasta. Las lecturas se hicieron del extracto filtrado con succión.

Anexo 3. Parcela externa versus parcela interna 21 DDT, primer ciclo, Cariari, Pococí, 2019.



Anexo 4. Cultivo de cebollino en la parcela externa versus parcela interna 28 DDT, Primer ciclo, Cariari, Pococí, 2019.



Anexo 5. Cultivo de col china en la parcela externa versus parcela interna 28 DDT, primer ciclo, Cariari, Pococí, 2019.



Anexo 6. Cultivo de vainica en la parcela externa versus parcela interna 28 DDT, primer ciclo, Cariari, Pococí, 2019.



Anexo 7. Cultivo de rúgula en la parcela externa versus parcela interna 28 DDT, primer ciclo, Cariari, Pococí, 2019.



Anexo 8. Parcela externa versus parcela interna 25 DDT, segundo ciclo, Cariari, Pococí, 2019.



Anexo 9. Cultivo de cebollino en la parcela externa versus parcela interna 18 DDT, segundo ciclo, Cariari, Pococí, 2019.



Anexo 10. Cultivo de col china en la parcela externa versus parcela interna 18 DDT, segundo ciclo, Cariari, Pococí, 2019.



Anexo 11. Cultivo de vainica en la parcela externa versus parcela interna 18 DDT, segundo ciclo, Cariari, Pococí, 2019.



Anexo 12. Cultivo de rúgula en la parcela externa versus parcela interna 18 DDT, segundo ciclo, Cariari, Pococí, 2019.

