



Instituto Nacional de Innovación y
Transferencia en Tecnología Agropecuaria



FONTAGRO



sector
AGRO
ALIMENTARIO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CASAS DE MALLA



Ing. Roberto Ramírez Matarrita M.Sc.
San José, Costa Rica, 2022.



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CASAS DE MALLA



Ing. Roberto Ramírez Matarrita M.Sc.
San José, Costa Rica, 2022.

631
C837d Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y
Transferencia en Tecnología Agropecuaria
Diseño y construcción de casas de malla /
Elaborado por Roberto Ramírez Matarrita.
– San José, C.R. : INTA, 2022.
46 páginas

ISBN 978-9968-586-56-6

1. ESTRUCTURAS DE PROTECCION 2. CASAS
DE MALLA. I. Ramírez Matarrita, Roberto. II. Título.

Códigos JEL: Q16

ISBN: 978-9968-586-56-6

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Roberto Ramírez Matarrita

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

www.fontagro.org



Autor

Ing. Roberto Ramírez Matarrita M.Sc.

Consejo Editorial del INTA

Ing. Kattia Lines Gutiérrez.

Ing. Laura Ramírez Cartín.

Ing. Nevio Bonilla Morales.

Ing. Francisco Arguedas Acuña.

Ing. Roberto Camacho Montero.

Ing. Kenneth Retana Sánchez

Editora

Ing. Kattia Lines Gutiérrez, MGA. klines@inta.go.cr

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)

Diseño, diagramación e impresión

Handerson Bolívar Restrepo www.altdigital.co

San José, Costa Rica. 2022

CONTENIDO

Resumen	5
Agradecimiento	6
Introducción.....	7
Capítulo I.....	9
Introducción	9
Viento	10
Temperatura	11
Humedad relativa	13
Radiación.....	17
Capítulo II.....	20
Tipos de casas de malla	20
Casa de malla de techo plano	20
Casa de malla de techo a dos aguas	21
Casa de malla de techo curvo	22
Diseño mediante modelaje del ambiente.....	23
Diseño mediante elaboración de Planos	24
Materiales	26
Materiales de cerramiento	26
Materiales de construcción	27
Capítulo III	29
Adecuación del terreno	29
Niveletas	30
Perforación de hoyos	31
Colocación de las columnas	32
Reforzamiento con arriostres.....	33

Instalación de anclajes.....	34
Colocación de cable.....	35
Construcción de doble puerta.....	36
Tejido de las mallas.....	37
Colocación de la malla.....	38
Sujeción de la malla.....	39
Obras complementarias.....	40
Pantalla de sombreado	40
Túneles.....	41
Zona para equipos de riego	42
Capítulo IV.....	43
Limpieza del módulo.....	43
Reparación de mallas	45
Referencias	47
El autor	50
Instituciones Participantes.....	51

RESUMEN

El presente manual pretende ofrecer una guía para el diseño, construcción y mantenimiento de proyectos de casas de malla, tomando en cuenta las experiencias a través del proceso de investigación que desarrolló el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) de Costa Rica, en conjunto con Agrosavia de Colombia, INIAF de República Dominicana e INIAP de Panamá, con el proyecto “Innovaciones para la horticultura en ambientes protegidos en zonas cálidas: opción de intensificación sostenible de la agricultura familiar en el contexto de cambio climático en ALC” y también con las actividades de transferencia que han originado vitrinas tecnológicas en fincas de productores, donde se ha validado la tecnología generada de la investigación, permitiendo crear innovaciones que han logrado adaptar diferentes cultivos hortícolas a sitios donde no era usual este tipo de siembras como las comunidades de la costa Pacífica, mejorando la economía local y la seguridad alimentaria.

Este tipo de opción de ambiente protegido se ha venido popularizando entre los productores de las zonas cálidas, que se encuentran cercanas al nivel del mar, debido al menor precio de la estructura con respecto a los invernaderos, por presentar mejores tasas de ventilación para evacuar el aire caliente, por su sencillez de construcción y por la facilidad de dar mantenimiento, lo que permite extender la vida útil de las mallas.

Palabras claves: Casas de malla, clima, diseño, construcción, sostenibilidad.

AGRADECIMIENTO

Al Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO), por todas las contribuciones realizadas para poder desarrollar las actividades contempladas en el proyecto: “Innovaciones para la horticultura en ambientes protegidos en zonas tropicales: opción de intensificación sostenible de la agricultura familiar en el contexto de cambio climático en ALC”, al personal de la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEEJN) del INTA por su entrega al trabajo y a todos los productores que han confiado en las opciones productivas compartidas durante este tiempo.

INTRODUCCIÓN

Para suplir en las siguientes décadas, la demanda mundial de alimentos para toda la humanidad, se necesitará incrementar los rendimientos productivos en las mismas áreas de siembra, a través de sistemas agrícolas resilientes, que tengan la capacidad de adaptar los cultivos a las variaciones climáticas por efecto del cambio climático (Morecroft *et al.* 2012). Este escenario requiere además integrar los sistemas de agricultura familiar, quienes producen el 80% del valor de los alimentos del mundo, pero son los más sensibles a padecer inseguridad alimentaria y pobreza (FAO 2018).

La producción de hortalizas es una de las actividades más vulnerables a las alteraciones ambientales, teniendo una seria consecuencia sobre la oferta y calidad de los productos, por lo que una de las opciones de mitigación a este problema, es el uso de sistemas de ambiente protegido, los cuales proveen una barrera física entre el cultivo y el medio ambiente, con la finalidad de crear un microclima favorable donde se pueda dar un desarrollo óptimo de las plantas, una reducción en la presión de plagas, con cosechas que presenten buenas características para su comercialización y alto valor remunerativo (Ramírez *et al.* 2010).

Entre las opciones de agricultura protegida se encuentran las casas de malla, las cuales son una alternativa intermedia entre el cultivo de campo abierto y bajo invernadero. Con la implementación de estas estructuras se busca transformar el uso de la tierra de extensivo a intensivo o propiciar la producción agrícola en sistemas alternativos y sostenibles con la finalidad de generar la oferta necesaria para satisfacer la demanda de alimentos de alta calidad a lo largo del año (Bartzanas *et al.* 2012). Este tipo de estructuras se construyen sobre columnas metálicas y cables de soporte donde se instala un techo y paredes laterales generalmente hechas de pantallas porosas, que restringen el ingreso de insectos y favorece el sombreado (Teitel *et al.* 2017).

La adopción de este tipo de tecnología ha tomado un gran auge desde finales de la década de los 90 y en la actualidad es un componente relevante de los sistemas de cultivo bajo cubierta, que se ha extendido gradualmente desde los países de la costa mediterránea a regiones de otras latitudes, principalmente con climas templados o cálidos (Tanny y Cohen 2003) y para diferentes tipos y métodos de cultivo (Shahak 2008). Comercialmente existe una gran variedad de mallas que difieren en tipos de material, color y porosidad; estas características afectan sus propiedades ópticas y aerodinámicas, por lo tanto, han sido fuertemente estudiadas y modificadas, en busca de mejorar

las condiciones micro climáticas generadas en el interior de las casas de malla (Manja y Aoun 2019; Tanny 2013).

De acuerdo con el material de fabricación de la pantalla porosa utilizada y sus propiedades, se buscan diversos objetivos de beneficio agrícola tales como:

- a. Sombreado para regiones donde la radiación solar es excesiva y con valores supra-óptimos (Möller *et al.* 2010).
- b. Reducción de la vulnerabilidad de los cultivos al daño por eventos meteorológicos tales como granizadas heladas y ráfagas de viento (Ilić *et al.* 2015; Mahmood *et al.* 2018).
- c. Limitación de inversiones térmicas (reducción de la temperatura en el interior del ambiente protegido) provocado por pérdida energética por radiación en las noches (Castilla 2005).
- d. Exclusión de insectos y vectores transmisores de virus, lo cual permite reducciones significativas de la aplicación de pesticidas (Pirkner *et al.* 2014; Tanny 2013).
- e. Aumentar el uso eficiente del agua, extender el periodo de crecimiento de las plantas y retrasar el proceso de maduración de algunos productos hortofrutícolas (Tanny *et al.* 2006; Teitel *et al.* 2015).

Además de los beneficios mencionados anteriormente, este tipo de estructuras se han popularizado y extendido entre los agricultores debido a la facilidad en las técnicas de construcción y la menor inversión, comparado con los invernaderos, lo que hace que la relación costo-beneficio sea mayor. (Mahmood *et al.* 2018). Por ejemplo, en el Estado de Tamaulipas en México, este tipo de explotación es empleada para la producción de chile dulce tipo Bell, ya que esta zona es el origen del mayor volumen de producción de este país, con fines de exportación, lo que demuestra que este medio de cultivo es eficaz, para proteger el cultivo de las variaciones climáticas, para controlar la incidencia de plagas y garantizar el cumplimiento de los requisitos fitosanitarios exigidos por los países importadores (INIFAP 2013).

Por lo anteriormente expuesto, es que se hace necesario que los productores conozcan de alternativas para producir de manera sostenible y que puedan iniciar una transición hacia sistemas que se logren adaptar a sus necesidades, por lo que el presente manual tiene como finalidad compartir los diseños, estructuras y procedimientos para la construcción de casas de malla con base en las experiencias que ha venido desarrollando el INTA en las provincias de Guanacaste y Puntarenas desde al año 2015.

CAPÍTULO I

EL CLIMA EN EL INTERIOR DE LAS CASAS DE MALLA

INTRODUCCIÓN

El clima espontáneo (micro clima) que se genera en el interior de cualquier estructura de ambiente protegido, está influenciado por la interacción que tienen una serie de variables climáticas, como la velocidad del viento, temperatura, humedad relativa y la radiación, los cuales sufren modificaciones cuando hay presente materiales de cubierta como plásticos y/o mallas, sin la utilización de ventilación forzada o sistemas de nebulización; y esta condición a su vez variará según el cultivo presente, diseño del módulo, ubicación de las unidades productivas y la época del año.

Para alcanzar un balance ideal de competitividad, contemplando un enfoque de sostenibilidad entre el diseño del sistema productivo, costos de inversión, el plan de mantenimiento y la producción estimada, se requiere del conocimiento de la dinámica ambiental que presentan anualmente los módulos de ambiente protegido tanto en su interior, como en el exterior, con el fin de determinar el potencial agro climático y la estrategia de manejo que se llevará a cabo con los cultivos priorizados.

A continuación, se detallan las variables climáticas que se deben tomar en cuenta para diseñar y dimensionar un proyecto de ambiente protegido.

VIENTO

La ventilación natural, producida por el movimiento del viento es muy importante para el manejo del microclima generado en el interior de los sistemas de ambiente protegido, ya que permite remover los excesos de calor y de humedad producidos en el interior de las estructuras, adicionalmente de que hace posible la renovación y el aporte del CO₂ consumido por las plantas a través del proceso de fotosíntesis (Molina-Aiz *et al.* 2009; He *et al.* 2017).

En los sistemas de ambiente protegido, las paredes están provistas de mallas para prevenir el ingreso de plagas y los techos dependiendo del sistema seleccionado puede ser de plástico como los invernaderos o para el caso de las casas de malla con filamentos de polímeros porosos iguales que los utilizados en las paredes. Independientemente de la selección de la opción productiva, la presencia de coberturas de cerramiento, provoca una reducción en el ingreso del aire desde el exterior hacia el interior de los módulos; lo que puede generar saltos térmicos (aumentos de temperatura en el interior), por efecto del confinamiento ocasionado por bajas tasas de renovación del aire.

Las dimensiones (largo, ancho y altura) y diseños (formas) de cualquier estructura de ambiente protegido, afecta el tiempo en el que aire recorre una distancia de un punto inicial a uno final, por lo que influye en la temperatura y humedad relativa que se alcanza en el interior (Ramírez 2020). Según Castilla (2005), las velocidades de viento por arriba de los 2 m/s permite un adecuado número de intercambios del volumen de aire que se encuentra dentro de los recintos confinados, permitiendo de 20 a 40 renovaciones por hora, con lo que se logra eliminar excesos de temperatura, aumentar la humedad relativa y sustituir el CO₂ consumido por el cultivo.

Costa Rica al presentar un sistema montañoso orientado de noreste a sureste, con presencia de valles y mesetas, produce una diversidad de fenómenos atmosféricos que generan diferentes climas en las regiones del país, variando la velocidad del viento según la época del año y la zona.

La velocidad del viento registrada en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, en Cañas, Guanacaste, durante el periodo comprendido del año 2017 al 2019, presentó los mayores movimientos de aire en la época seca, la cual inició a finales del mes de noviembre, con el ingreso de los vientos alisios y finalizó en el mes de abril con la transición a la época lluviosa, presentando un rango entre 0,71 a 2,59 m/s para la velocidad de viento promedio y de 3,03 a 7,31 m/s para las velocidades de viento máximas. Por el contrario, en la época lluviosa (mayo a noviembre) presentó una reducción importante en el movimiento del aire, generando un rango de velocidad promedio de viento entre 0,28 a 0,77 m/s y de 1,29 a 2,47 m/s para las velocidades de viento máximas, por lo que para este periodo del año queda en evidencia que hay una limitante para ventilar de forma natural cualquier módulo de ambiente protegido (Figura 1).

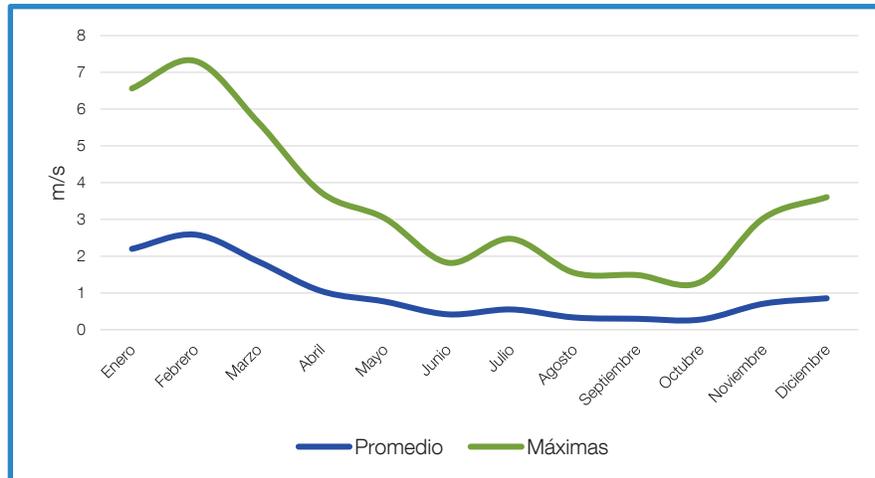


Figura 1. Velocidades de viento (m/s) promedio y máximas registradas en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez del año 2017 al 2019 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: INTA 2020.

TEMPERATURA

La temperatura es el factor más importante a tomar en cuenta en zonas tropicales, ya que la actividad fotosintética tiene una clara respuesta a esta variable climática, la cual muestra un mínimo sobre los 5 °C y alcanza el óptimo entre los 25 a 35 °C en la mayoría de las especies hortícolas, presentando una disminución a valores superiores (Urban 1997).

Para Acuña (2003), según las necesidades de los cultivos, los niveles de temperatura se pueden llegar a clasificar en:

Temperatura mínima letal: aquella por debajo de la cual se produce daño irreversible en la planta (heladas).

Temperaturas máximas y mínimas biológicas: valores por encima o por debajo de los cuales no es posible que la planta realice correctamente sus funciones, lo que puede llegar incluso a detener su crecimiento y desarrollo.

Temperaturas óptimas: son las temperaturas ideales para el adecuado desarrollo del cultivo, tanto en horas diurnas como nocturnas.

La temperatura que se alcanza en el interior de una casa de malla, es el producto de un equilibrio térmico que involucra diferentes factores climáticos, como los niveles de humedad relativa, ventilación natural y la radiación solar que ingresan por las coberturas de cerramiento, las cuales una parte es absorbido por el suelo y el cultivo; mientras que el restante se refleja hasta el techo por medio del infrarrojo largo (IR Largo), donde un porcentaje sale al exterior y la otra es reemitida de nuevo hacia la superficie (Figura 2).

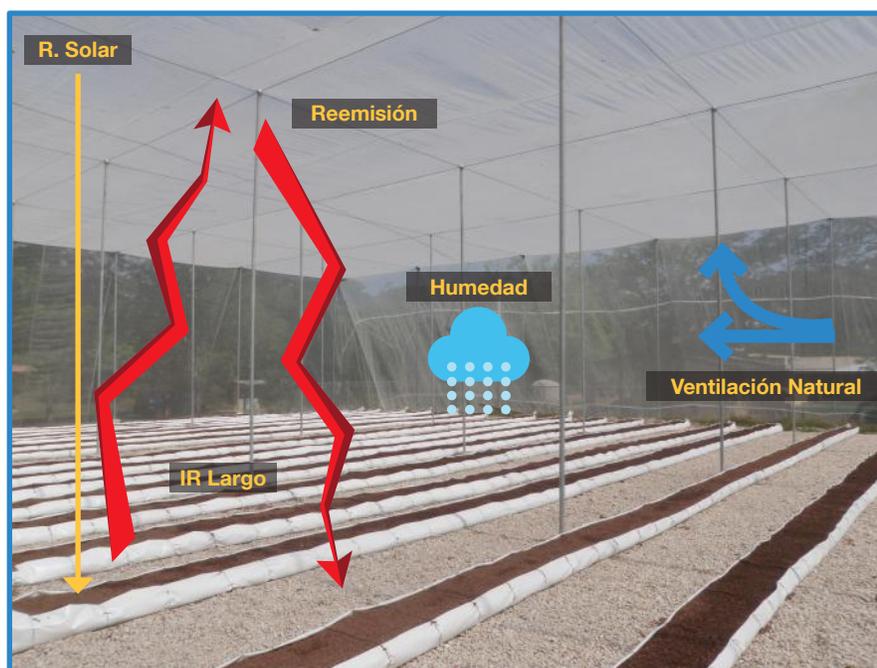


Figura 2. Factores climáticos que influyen sobre las gradientes de temperatura que se alcanzan dentro de los recintos de casas de malla.

Fuente: Elaboración propia

Las casas de malla al estar cerradas en sus paredes y techos con mallas porosas, permiten un mayor flujo de aire del exterior al interior del recinto, comparado con los invernaderos que cuentan con coberturas plásticas en la parte superior, lo que favorece un mayor intercambio gaseoso, removiendo las capas de aire caliente, que son las responsables de ocasionar saltos térmicos. Las dimensiones del perímetro del módulo de casa de malla (largo por ancho); así como la altura, repercuten en el movimiento del aire, pudiendo generar diferentes gradientes de temperatura en algunos puntos, por lo que el diseño que se seleccione es muy importante para tratar de uniformar las condiciones ambientales donde se desarrollan los cultivos.

En la provincia de Guanacaste, ubicada en el Pacífico Norte de Costa Rica, se evaluó en la EEEJN, la dinámica de la temperatura durante los diferentes meses del año, utilizando dos alturas de casas de malla (3 y 5 m) en presencia de un cultivo de chile dulce. En la época seca (diciembre a mayo) la temperatura promedio fue muy similares en los dos módulos con un rango de 28 a 31 °C, con el beneficio de que ninguno presentó saltos térmicos, lo que indica que el aumento de velocidad de viento en este periodo del año, es un factor muy importante para eliminar los excesos de calor.

Por su parte en la época lluviosa aunque hubo una ligera variación entre las temperaturas que se registraron en el interior de los dos diseños de casas de malla de 3 y 5 m de altura; las mismas estuvieron cercanas a los 28 °C, con la salvedad que para esta periodo del año si se presentaron saltos térmicos en el interior de los módulos, lo que indica que cuando la velocidad del viento se reduce, las tasas de renovación de aire también lo hacen, lo que genera un aumento de la sensación térmica (Figura 3).

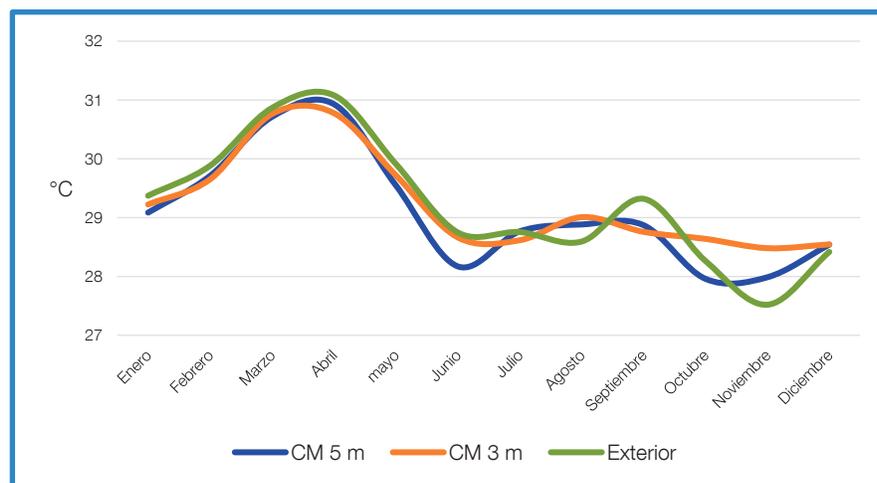


Figura 3. Dinámica de la temperatura (°C) promedio en el interior y exterior de dos casas de malla de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste, 2020).

Fuente: Ramírez 2021, Ramírez *et al.* 2022.

HUMEDAD RELATIVA

La humedad ambiental no interviene directamente en la fotosíntesis, pero su papel es indirecto a través de la influencia en la apertura de estomas en el cultivo. La contribución más importante de vapor de agua en un sistema productivo, en especial en ambiente protegido lo efectuará la transpiración del cultivo y la evaporación del agua desde el suelo húmedo (Day y Bailey 1999). En la Región del Pacífico Norte de Costa Rica, los menores contenidos de humedad relativa que se registraron en el interior de una casa de malla de 3 y otra de 5 m de altura ocurrieron en la época seca (diciembre a mayo), muy similar a los datos obtenidos en el exterior, siendo el mes de marzo el más crítico con una humedad relativa promedio cercano al 52% para todos los sistemas productivos (Figura 4).

En la época lluviosa se presentó un alto contenido de masa agua por unidad de aire seco muy cercano al 80%, propiciado por las bajas presiones que caracterizan este periodo del año, aunado a una reducción del movimiento del aire, lo que genera un incremento en la sensación térmica, que afecta en gran medida la transpiración de las plantas y por consiguiente el proceso fotosintético (Figura 4).

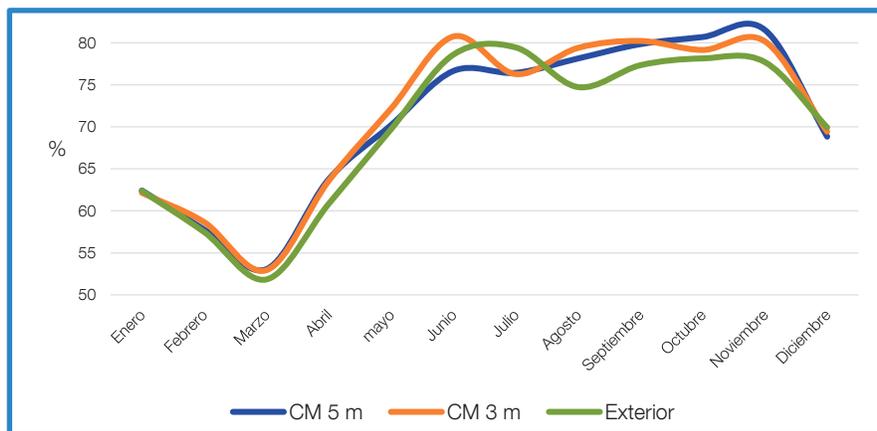


Figura 4. Dinámica de la humedad relativa (%) promedio en el interior y exterior de dos casas de malla de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste, 2020).

Fuente: Ramírez 2021, Ramírez *et al.* 2022.

La temperatura y la humedad relativa, aunque no son inversamente proporcionales, si tienen una estrecha relación en las diferentes horas del día, sufriendo variaciones cuando uno de estos factores se incrementa o decrece. En la provincia de Guanacaste, durante la época seca las horas de mayor temperatura dentro y fuera de los módulos de casas de malla de 3 y 5 m de altura se alcanzó después de las 09 horas, superando los 35 °C, condición que se mantuvo hasta las 15 horas, ocurriendo un salto térmico de 1 °C. (Figura 5).

Los mayores niveles de humedad relativa cercanos al 75%, ocurrieron de las 00 hasta las 06 horas, coincidiendo con las menores temperaturas del día, mientras que los menores registros de humedad también concordaron con las horas donde se observaron las mayores temperaturas (09 a las 15 horas). Esta dinámica de las condiciones ambientales suscitadas en la época seca permite planificar el riego y los tiempos en el día en que se puede humidificar el ambiente con el uso de nebulizadores, para así reducir la temperatura, sin llegar a una higrometría del aire que sobrepase los límites que se aproximen a la saturación, con el fin de no promover el desarrollo de organismos fitopatógenos (Figura 5).

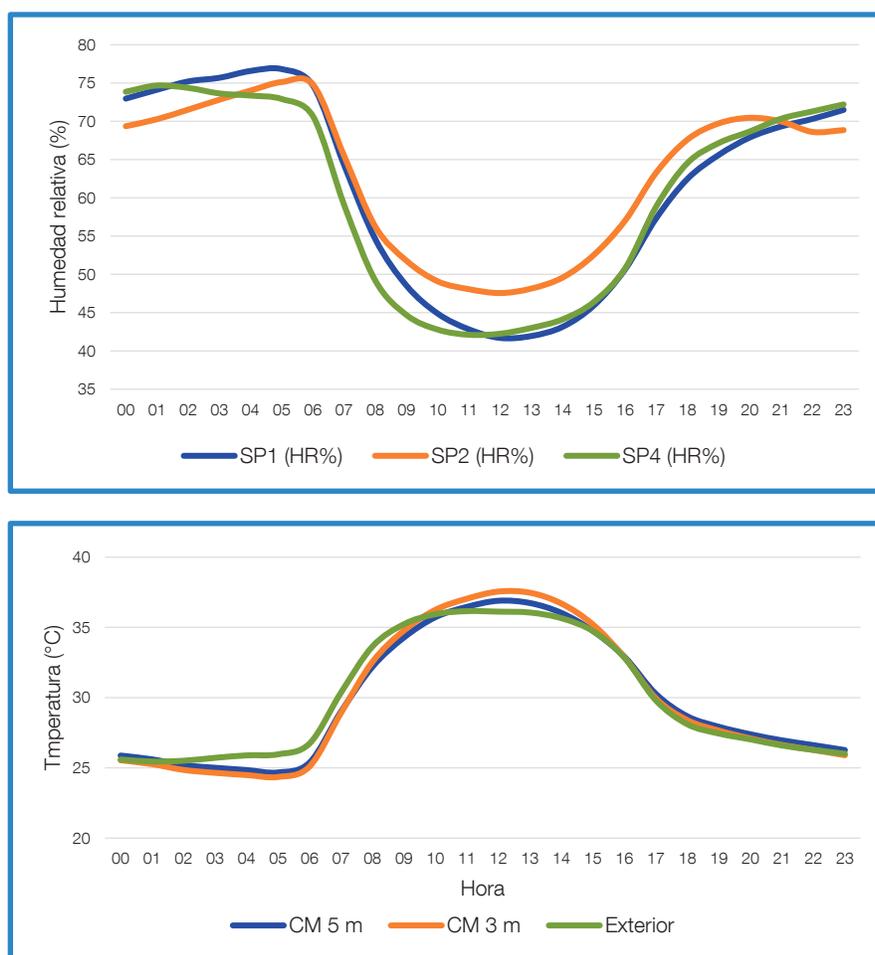


Figura 5. Relación de la temperatura (°C) y la humedad relativa (%) durante las 24 hrs del día, registradas en el interior y exterior de dos casas de malla de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura; durante la época seca de diciembre del 2019 a abril del 2020 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Ramírez 2021

En la época lluviosa la dinámica de la temperatura y humedad relativa varía con respecto a la época seca durante las 24 horas del día. Las máximas temperaturas alcanzadas entre las 09 y 14 horas, superaron los 30 °C, convergiendo con las menores humedades relativas, las cuales sobre pasaron el 60%, provocando saltos térmicos de hasta 4 °C, siendo estos mucho mayores que en la época seca. Esta combinación de factores meteorológicos sumados a una reducción del viento provoca una alta sensación térmica (temperatura aparente), lo que puede llegar a una percepción de temperatura superior a la que marca el termómetro, por lo que se debe de analizar el uso de ventilación forzada, para remover el calor (Figura 6).

En las horas nocturnas se presentó mayor higrometría promedio del aire, con un rango entre 75 a 90%, tanto en el interior como exterior de las casas de malla, mientras que la temperatura rondó los 25 °C. Esta condición comparada con la época seca permite conocer que, aunque las temperaturas fueron similares, por el efecto de la alta humedad en la época lluviosa, la sensación de calor aumenta e influye en las prácticas de manejo, en especial con las frecuencias de riego y la restricción en el uso de sistemas de humidificación (Figura 6).

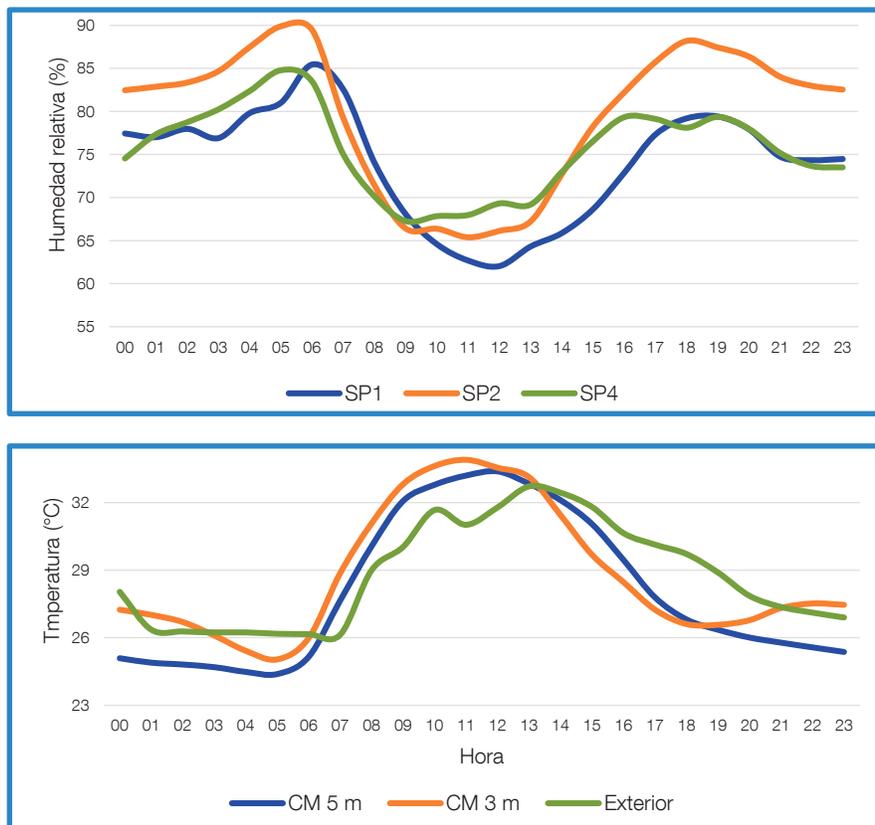


Figura 6. Relación de la temperatura (°C) y la humedad relativa (%) durante las 24 horas del día registradas en el interior y exterior de dos casas de malla de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura; durante la época lluviosa de mayo a noviembre del 2020 el año 2020 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Ramírez *et al.* 2022.

RADIACIÓN

La radiación es un conjunto de ondas electromagnéticas proveniente del sol, las cuales contemplan una amplia gama de longitudes de onda, pero son las comprendidas entre los 400 y 700 nanómetros (Figura 7), las más importantes para las plantas verdes, ya que en estas se encuentran la radiación fotosintéticamente activa PAR (del inglés “Photosynthetic Active Radiation”), quienes son las que influyen directamente sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas (Castilla 2005).

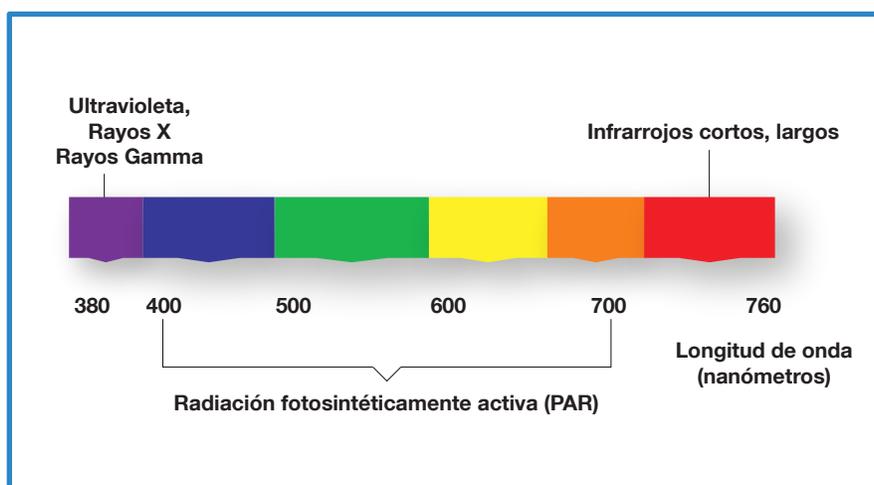


Figura 7. Espectro electromagnético.

Fuente: Ramírez *et al.* 2010.

Los factores que determinan la cantidad de radiación que llega a un sistema productivo están determinados por la latitud, posición del sol en el cielo en las diferentes épocas del año, la altitud del sitio, el grado de nubes presentes y si existe algún tipo de cobertura plástica que pueda reducir el paso de la luz (Baille 1999).

Las evaluaciones del efecto de la radiación sobre los cultivos de hortalizas en la Región del Pacífico Norte de Costa Rica, en la época seca, ha permitido tener una mayor comprensión de los niveles óptimos para las plantas en este periodo del año, por lo que se ha generalizado el uso de pantallas de sombreado para controlar la incidencia de la luz, reducir daños en la producción, aumentar las tasas de evapotranspiración y evitar fisiopatías (Ramírez *et al.* 2018).

Una evaluación realizada en la EEEJN, ubicada en la provincia de Guanacaste, durante los meses de diciembre del 2019 a abril del 2020, para determinar entre otras cosas, la constante de radiación que ingresaba en el interior de dos diseños de casas de malla de 3 y 5 m de altura, utilizando internamente una pantalla de sombreo del 50%, indicó que los promedio de la radiación PAR en las horas del día en que hubo irradiación (06 a 17 horas), fue variable en cada mes, por lo que hay que estar atento a abrir la cortina en caso del ingreso de frentes fríos, que traen muchas masas de nubes (Figura 8).

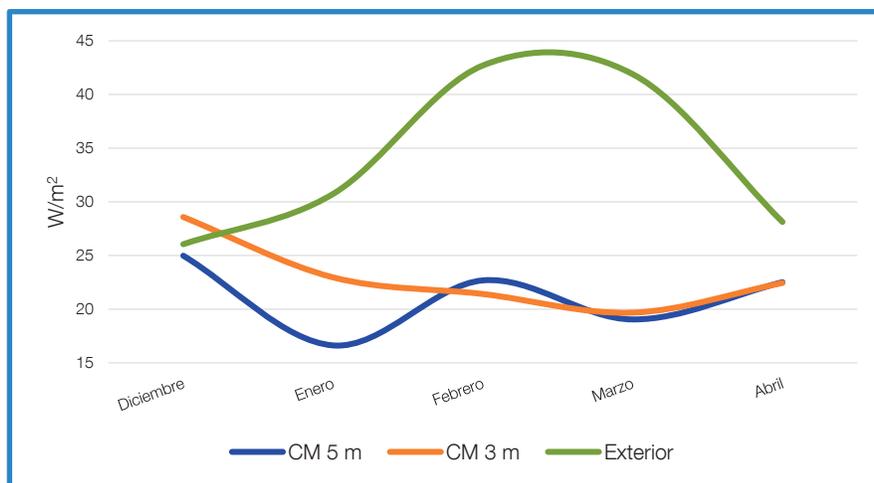


Figura 8. Dinámica de la radiación PAR ($W \cdot m^{-2}$) promedio, registradas en el interior y exterior de dos casas de malla de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura; durante las horas del día de diciembre del 2019 a abril del 2020 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Ramírez 2021

En la época seca desde tempranas horas de la mañana, los cultivos presentes en los recintos de casas de malla, tienen la capacidad para iniciar el proceso metabólico, pero es a partir de las 08 y hasta las 15 horas, que los niveles de radiación alcanzan rangos entre 20,04 a 31,44 $W \cdot m^{-2}$ PAR, lo que permite que los cultivos de hortalizas puedan alcanzar el punto de saturación para potencializar su sistema fotosintético, lo que demuestra que en la Región del Pacífico Norte de Costa Rica, los niveles de radiación provenientes del sol, cumplen con los requerimientos de luminosidad, aun cuando se utilice un sistema de sombreo (Figura 9).

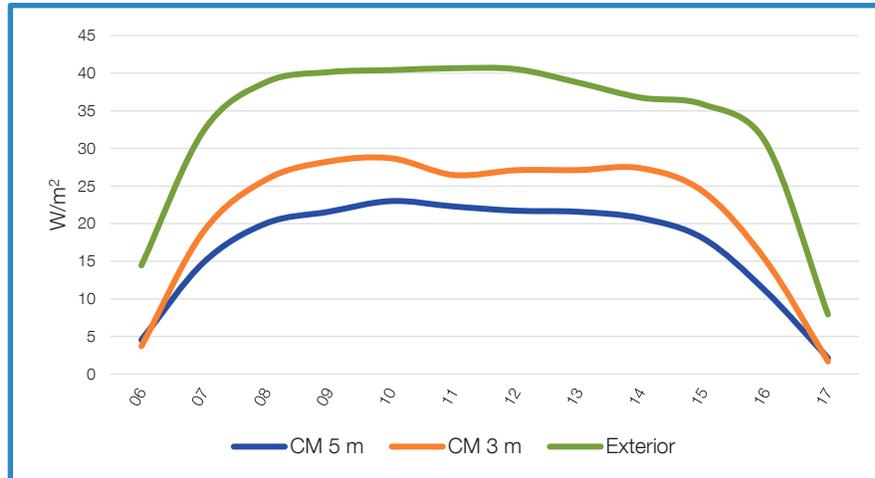


Figura 9. Dinámica de la radiación PAR ($W \cdot m^{-2}$) de las 06 a las 17 horas, en el interior y exterior de dos casas de malla de 5 m (CM 5 m) y de 3 m (CM 3 m) de altura; durante los meses de diciembre del 2019 a abril del 2020 (E.E.E.J.N., Cañas, Guanacaste).

Fuente: Ramírez 2021

CAPÍTULO II

DISEÑOS

Los proyectos de producción de hortalizas en casas de malla deben contemplar una serie de elementos tanto económicos, ambientales como sociales para poder determinar en función a un cultivo la sostenibilidad del sistema productivo.

A continuación, se presenta el procedimiento para desarrollar un proyecto en casa de malla, ya sea con iniciativa constructiva del productor o contratando el servicio, basándose en las experiencias que se han desarrollado especialmente en unidades productivas de agricultura familiar localizadas en las provincias de Puntarenas y Guanacaste.

TIPOS DE CASAS DE MALLA

Existen distintas formas de casas de malla, que varían principalmente en el diseño de la parte superior, encontrándose estructuras con techos planos, a dos aguas y curvos. Casa tipo de casa de malla, tiene diferentes procedimientos constructivos, pero son igual de funcionales para prevenir el ingreso de plagas.

Casa de malla de techo plano

Las casas de malla con techo plano, son más sencillas de construir, comparadas con otros diseños, ya que las uniones de las mallas se pueden realizar al nivel de la superficie, utilizando costuras que una vez entretejidas forman una sola pieza, las cuales cubrirán las paredes y el techo, lo que ahorra mucho tiempo y riegos del personal que lo construye. La altura del piso al techo puede variar según las recomendaciones para la zona, con la ventaja que todo el volumen de aire en el interior de la estructura será homogéneo (Figura 10).

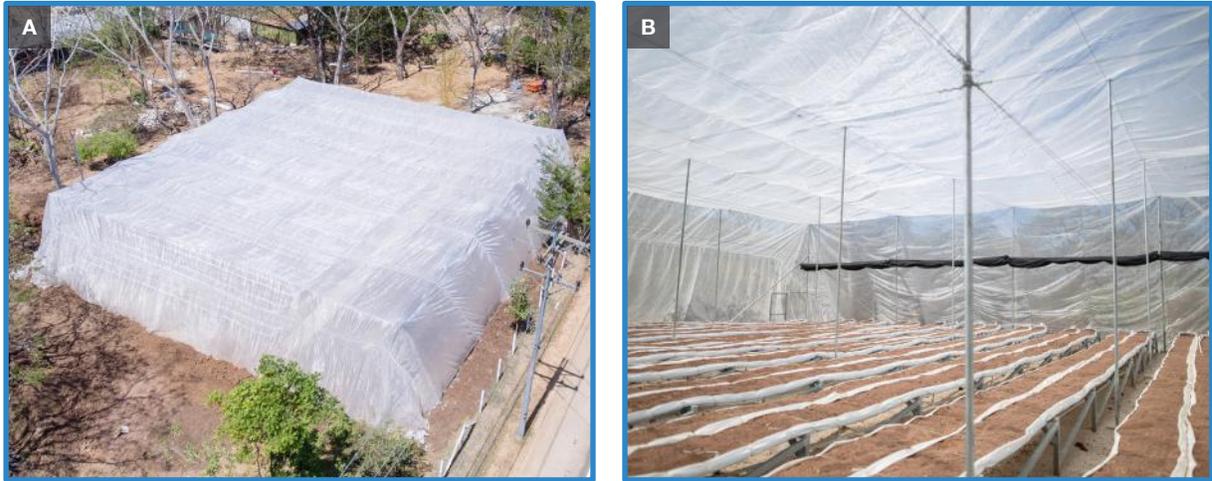


Figura 10. Casa de malla de techo plano. (A) exterior (B) interior (Guanacaste, 2019).

Casa de malla de techo a dos aguas

Las casas de malla con techos a dos aguas utilizan dos alturas en las líneas de tubos de forma intercalada para lograr el declive en el techo en forma de sierra. Para conseguir este efecto se coloca una línea de postes con una altura entre 4 a 5 m, en medio de filas de tubos con una altura que oscila entre los 3 a 3,5 m, siguiendo este patrón dependiendo el tamaño del módulo. En este caso la malla se debe unir con los cables que sujetan el tejido, lo que hace el proceso más lento, pero con la ventaja que estos sistemas son más aerodinámicos para soportar mayores velocidades de viento (Figura 11).



Figura 11. Casa de malla con techo a dos aguas. (A) exterior (B) interior (Puntarenas, 2019).

Casa de malla de techo curvo

Las casas de malla con techos curvos, se asemejan a los invernaderos tipo capillo y aunque hay empresas que tiene este modelo dentro de su cartera de servicios, hay que destacar que la mayoría de productores que han acogido este tipo de diseño, son los que han transformado antiguos proyectos de invernadero a casas de malla, con el fin de adaptar los cultivos a las condiciones ambientales, en especial de las comunidades aledañas a las costas de Puntarenas y Guanacaste (Figura 12).



Figura 12. Casa de malla con techo curvo. (A) exterior (B) interior (Guanacaste, 2019).

DISEÑO MEDIANTE MODELAJE DEL AMBIENTE

El uso de herramientas informáticas como el software de dinámica de fluidos computacional (CFD por sus siglas en inglés), permite generar escenarios del comportamiento del micro clima en el interior de cualquier estructura de ambiente protegido, utilizando los registros climáticos de una zona, para conocer por anticipado si el diseño planteado es óptimo para una condición agro ecológica y así ahorrar costos de inversión con modelos inapropiados.

Este programa de cómputo se utilizó para modelar el micro clima que se generó en el interior de dos casas de malla de 3 y 5 m de altura de 144 m² cada una (incluye perímetro de la estructura y distancia de la pared de la malla), con las condiciones climáticas que imperaron a las 08, 12 y 04 horas, durante los meses de noviembre a diciembre del 2019 en la provincia de Guanacaste (Figura 13). Los resultados indicaron que no se encontraron diferencias significativas en el comportamiento térmico, lo que sugiere que la altura puede variar en este rango, sin que haya oscilaciones en las condiciones de temperatura en el interior, con la diferencia, que entre menor sea la altura del suelo al techo, se reducen los costos y la malla queda más protegida contra el viento (Villagrán *et al.* 2020).

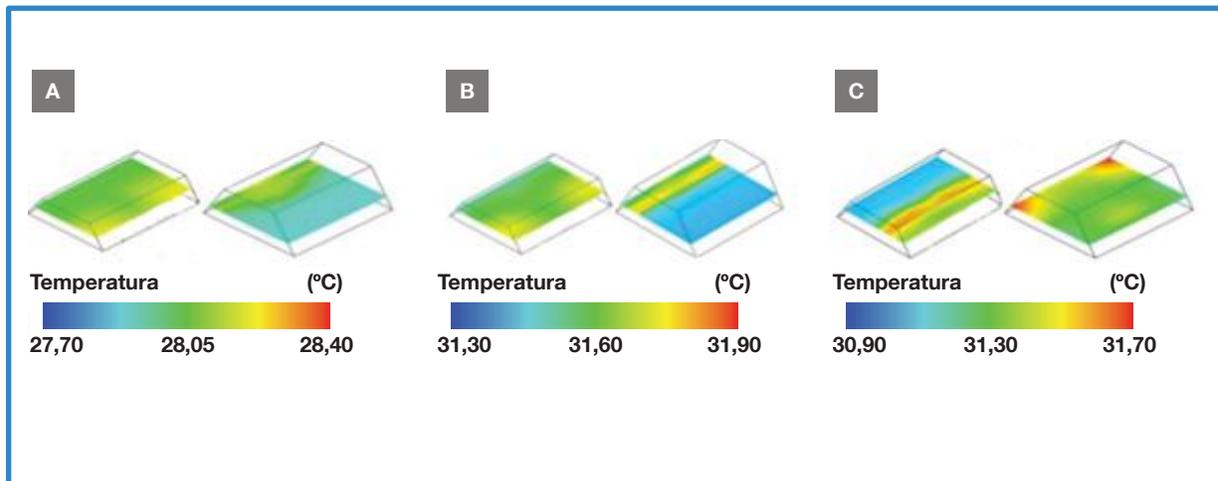


Figura 13. Variaciones en la distribución térmica simulados con CFD (°C) en tres horas del día: (A) 08 horas, (B) 12 horas, (C) 16 horas evaluados para dos diseños de casas de malla de 3 y 5 m de altura (EEEJN, 2019).

Fuente: Villagrán *et al.* 2020.

DISEÑO MEDIANTE ELABORACIÓN DE PLANOS

Una vez seleccionado el diseño de casa de malla que mejor convenga a la unidad productiva, se debe realizar una serie de cálculos para determinar la cantidad de materiales y el área de construcción que se va a requerir, contemplando el perímetro donde estarán ubicados los postes, que dan pie a la estructura y el área periférica entre los tubo hasta donde se enterrará la malla, ya que este espacio, normalmente no es aprovechado para la siembra de cultivos, pero si es considerado dentro de los costos de inversión en el momento de cotizar con una empresa constructora.

Si por ejemplo, se quiere desarrollar un proyecto productivo mediante una casa de malla con medidas de 24 m de largo x 24 m de ancho (576 m²), se debe tomar en cuenta que la malla va a estar enterrada a una distancia de los tubos ubicados en el perímetro de la estructura entre 1,5 a 2 m, por lo que el área final va a variar entre 650 a 676 m², lo que significa una pérdida de área entre un 11 a un 14% respectivamente (Figura 14).

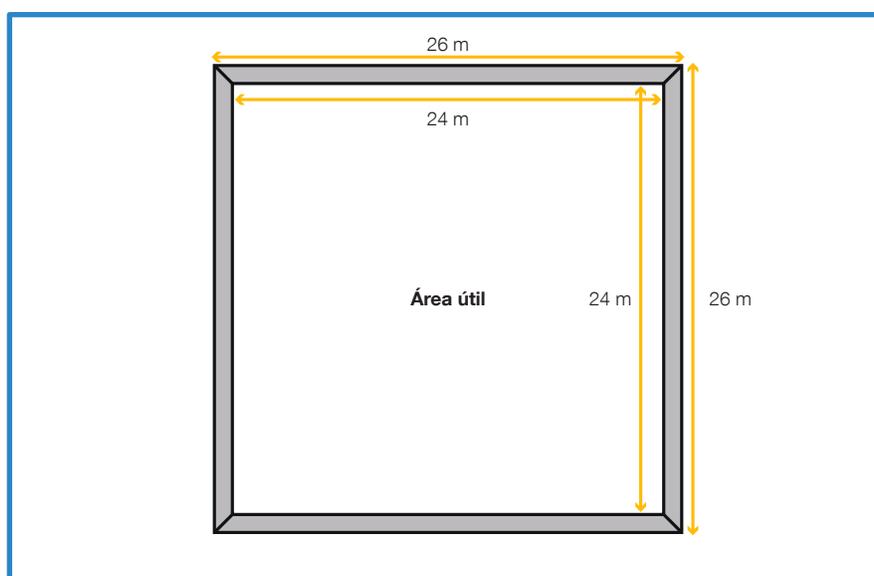


Figura 14. Croquis de área de construcción contemplando perímetro útil y distancia de la pared.

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo con el ejemplo anterior, para diseñar una casa de malla de techo plano de 24 m x 24 m de área útil con 2 m de distancia a la pared de la malla, se puede utilizar una distancia entre los tubos utilizando una distribución en cuadrícula que puede ser de 5 x 5 m, 6 x 6 m y hasta 7 x 7 m, con la salvedad que ha menor separación entre tubos la malla del techo se asienta mejor.

Para lograr este modelo se deben colocar en el perímetro exterior tubos de 5 cm (2") de diámetro con un espesor de pared de 2,6 mm, con una altura de 3 m, mientras que los postes ubicados en el interior serían de un diámetro de 3,75 cm (1,5"), con un espesor de pared de 1,6 mm, los cuales tendrían una altura de 4 m, lográndose reducir así, el área de las paredes y con esto mejorar la resistencia al viento. Cabe destacar que todos los tubos que se cortan se pueden volver a unir con soldadura, lo que permite un aprovechamiento de la totalidad de los materiales (Figura 15.).

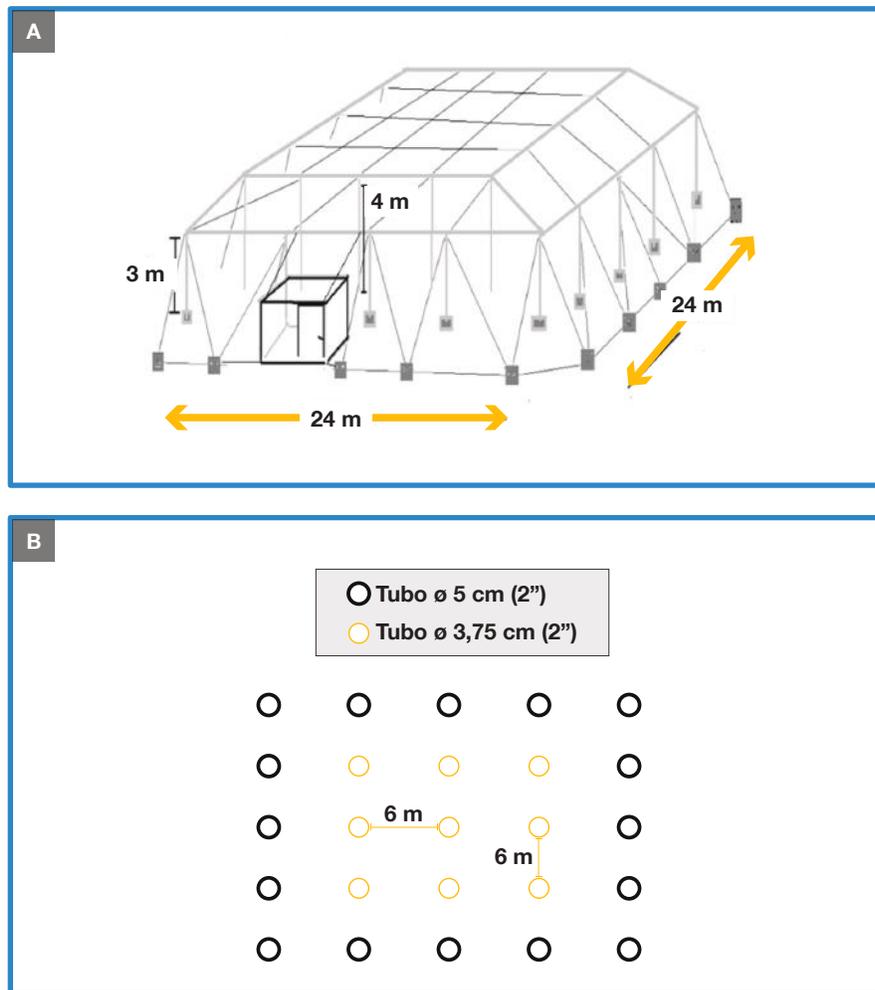


Figura 15. Diseño de una casa de malla de 24 m de ancho x 24 m de largo: (A) croquis de la estructura (b) distribución de los postes del perímetro externo e interno.

Fuente: Elaboración propia.

MATERIALES

Antes de calcular la lista de materiales, se debe conocer la oferta de productos que disponen los proveedores, en especial los que venden las mallas anti insecto, ya que existen diferentes porosidades, anchos y largos, lo que permite variar las dimensiones del proyecto con el fin de utilizar la totalidad de los recursos adquiridos y mejorar la resistencia al viento. Este aspecto es muy importante, ya que los módulos deben resistir velocidades de viento máximas que son provocadas por ráfagas que están por encima de los promedios, por lo cual una forma de mejorar la aerodinámica es dándole una menor altura a las paredes con respecto al techo.

Materiales de cerramiento

Las casas de malla tienen como principal fin el de proveer de una protección mecánica para reducir la incidencia de plagas en un cultivo, mediante el uso de filamentos de polímeros porosos tanto en las paredes como en el techo, lo que genera un recinto cerrado, que permite realizar una estrategia de control dentro del concepto de manejo integrado de plagas (MIP).

La industria ofrece una amplia gama de mallas con diferentes porosidades, que están determinadas por el número de orificios por pulgada cuadrada al cual se le denomina “mesh”, quien dependiendo de la densidad de hilos tendrá la capacidad de suprimir determinadas plagas y además tendrá un efecto directo en el ingreso del aire proveniente del exterior hacia el interior, generando una reducción en las tasas de renovación del ambiente donde se desarrollan los cultivos.

Cuanto mayor sea el valor del “mesh”, significa que la malla es menos porosa, ya que tiene mayor cantidad de hilos por pulgada cuadro, lo que trae como beneficio que repele una gran cantidad de plagas, pero con la limitante que restringe las tasas de renovación de aire, por lo que se debe tomar en cuenta este aspecto para seleccionar un calibre que presente beneficios en ambos sentidos. Las mallas más utilizadas para restringir la entrada de plagas como la mosca blanca, áfidos, lepidópteros, minadores y trips son las de 42, 50 y 60 “mesh”, las cuales se encuentran en el mercado en presentaciones de 50, 90 y 100 m de largo, con anchos que varían entre los 3 a 4,4 m (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de las porosidades de las mallas anti insecto expresados en “mesh”.

Mesh	Hilos por pulg ²	Hilos por cm ²	Peso aprox. (g/m ²)	Diámetro de hilo (mm)	% de sombra
60	56/30	22/12	180-195	0,21	30-35
50	50/24	20/10	155-180	0,23	25-30
42	42/26	16/10	135-150	0,25	20-25

Fuente: PRONAP 2011.

Materiales de construcción

Los materiales para construir una casa de malla con estructura metálica se pueden adquirir en cualquier ferretería, ya que consisten en su gran mayoría de tubos de hierro galvanizado (hg) de diferentes diámetros. Es importante destacar que la longitud de los tubos de hg es de 6 m, por lo que todas las piezas sobrantes que se cortan al momento de colocar los pilares y refuerzos en los diferentes puntos del módulo, se pueden unir con soldadura para optimizar el uso los materiales y reducir los costos (Cuadro 2).

Todos los tubos metálicos que funcionan como columnas o arriostres deberán soportar las cargas estructurales, provocados principalmente por el viento, para evitar una deformación del módulo, por lo que hay que contemplar una cimentación con concreto reforzado, para lo cual se tiene que contar con equipo para realizar las mezclas con cemento, con el fin de cubrir todos los hoyos y así darle mayor estabilidad a la estructura.

A continuación, se muestra la lista de materiales para construir el diseño descrito en la figura número 15, empleando una distancia de tubos de 6 m x 6 m.

Cuadro 2. Lista de materiales para la construcción de un módulo de casa de malla de 576 m² de área útil (24 m x 24 m).

Característica	Cant./unidad	Uso
Tubo metal 2" (5 cm / 2.60 mm)	11	Postes de perímetro
Tubo metal 1.5" (3,75 cm / 1.50 mm)	25	Postes internos
Tubo metal 1" (2,5 cm / 1 mm)	4	Puerta
Varilla lisa #6	3	Anclajes
Varilla deformada #3	4	Cimientos
Perfiles metálicos	25	Puertas
Cable tensor #1	350 m	Tensión estructural
Cable tensor #2	350 m	Unir mallas
Tapón PVC (5 cm)	16	Para cubrir postes 2"
Tapón PVC (3,75 cm)	9	Para cubrir postes 1,5"
Cemento (sacos)	7	Cimientos
Piedra + Arena (m ³)	1 c/u	Cimientos
Soldadura (kg)	20	Reforzamientos
Discos para cortar	4	Cortar tubos
Malla anti insecto (100 x 3,3 m)	4 rollos	Paredes y techos
Gazas de metal 4" (10 cm)	25	Sujeción de malla
MO (Jornales)	80	Construcción

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN

El presente capítulo, tiene como finalidad orientar en los pasos que se deben seguir para construir una casa de malla de techo plano como la que se mostró en el ejemplo de la figura número 15, tomando en cuenta las experiencias desarrolladas en las Regiones Chorotegas y Pacífico Central, la cual presenta dentro de sus características contar con un área de 576 m² (24 m x 24 m), presentando una altura de los tubos del perímetro exterior de 3 m y los del interior de 4 m, con una distribución de los postes de 6 m x 6 m.

Cabe mencionar que las dimensiones de un módulo de estas características pueden variar, según el deseo del productor, por lo que este ejemplo servirá de modelo para cualquier ajuste en tamaño que se quiera realizar. Este proceso constructivo se puede contratar a una empresa especializada que se dedique a esta actividad o también lo puede realizar el propio productor, con apoyo de personal.

ADECUACIÓN DEL TERRENO

Antes del inicio de la construcción de la estructura de casa de malla es preferible realizar la labranza del suelo, para luego iniciar preparación de las eras (camas de cultivos) y/o lomillos, según el cultivo que se desee sembrar, ya que la maquinaria o personal tendrán mayor facilidad de operación, por la ausencia de los tubos metálicos que servirán como columnas de la estructura (Figura 16).

Normalmente las eras para la producción de cultivos de hoja como por ejemplo la lechuga se confeccionan con una dimensión de 1,1 m de ancho, con una altura de 30 – 40 cm, separadas unas de otras por callejones de no menos de 40 cm de ancho, con una pendiente mínima de 0,5%, que además de facilitar el traslado del personal, funcionen como drenajes para evacuar las aguas de lluvia. Mientras que los lomillos para cultivos de porte alto como el chile dulce se elaboran de forma triangular con un ancho en la base entre 40 a 60 cm, con una altura de 30 a 40 cm y pasillos cercanos a un metro. Con las medidas antes descritas habrá espacio para preparar 4 eras o 4 lomillos por cada nave de 6 x 6 m.



Figura 16. Preparación de terreno. (A) rastreo (B) confección de camas de cultivo. Puntarenas, 2020.

NIVELETAS

Para poder proporcionar un plano horizontal nivelado a todo el perímetro del proyecto se deben realizar niveletas, empleando estacas de madera en las cuatro esquinas, basándose en la forma de un triángulo pitagórico, llamado también 3 – 4 – 5, para asegurar que cada esquina corresponda a un ángulo de 90° exactos, en donde una vez obtenido el mismo nivel en los cuatro puntos, ya sea con un instrumento (nivel topográfico) o con nivel de agua (manguera niveladora), se podrá trazar líneas rectas con cuerda de construcción, con el fin de definir los lugares donde se ubicarán los tubos metálicos de forma isométrica según la distancia seleccionada y garantizar que todos queden a la misma altura (Figura 17).



Figura 17. Levantamiento de niveletas. (A) nivel con agua (B) triángulo pitagórico (Puntarenas, 2020).

PERFORACIÓN DE HOYOS

Una vez seleccionado el diseño de la cuadrícula con la distribución de los tubos metálicos, a continuación, se deberá marcar los puntos donde se enterrarán los postes, arriostre y anclajes, guiándose con los niveles; así como con los trazos que se obtuvieron con las niveletas.

Los hoyos para los tubos tanto del perímetro externo (2”), como el interno (1,5”) y los arriostres (1,5”) que refuerzan la estructura, deberán ser de 1 m de profundidad a partir del nivel que indica la cuerda de la niveleta, con un diámetro que puede oscilar entre 30 a 40 cm. Por su parte las perforaciones para las varillas de anclaje serán de 60 cm de profundidad con un diámetro entre 20 a 30 cm, los cuales se pueden realizar con un palín doble (Figura 18).



Figura 18. Perforación de hoyos. (A) distribución (B) diámetro (Guanacaste, 2016).

COLOCACIÓN DE LAS COLUMNAS

Los tubos ubicados en el perímetro externo (alrededor de la casa de malla) son los que soportan las mayores cargas mecánicas, ejercidas principalmente por la velocidad del viento, por lo que se recomienda que el diámetro mínimo de estos postes estructurales sea de 50 cm (2"), con un espesor de 2,6 mm, colocados a una altura desde la base hasta punto más alto entre 3 a 3,5 m.

Las columnas metálicas que se ubican en el interior del perímetro y cuya principal función es el de dar sostén a la malla y conferir de una mayor integridad estructural al módulo, pueden ser de un diámetro de 3,75 cm (1,5"), con un espesor de 1,6 mm, utilizando una altura desde la base de 4 m, para que con la diferencias de nivel con respecto a los tubos que estarán más próximos a la pared, se pueda dar un mejor efecto aerodinámico para proteger a la estructura contra ráfagas extremas de viento.

Antes enterrar la base de los tubos, es recomendable hacer una armadura soldando al menos 3 piezas de varilla corrugada número 3, de unos de 15 cm de longitud en el punto medio del tubo de hierro galvanizado, distribuidos en los primeros 80 cm del poste, para asegurar un óptimo amarre con el concreto y una mejor cimentación. Cabe destacar que se debe contar con un nivel de mano o plomada para verificar que los tubos una vez colocados queden verticales (Figura 19).



Figura 19. Colocación de columnas. (A) estructura de la base (B) aplomo del tubo con nivel de mano (Puntarenas, 2020).

REFORZAMIENTO CON ARRIOSTRES

Las velocidades extremas de viento que ocurren en diferentes partes del país, en especial en la época seca, ha hecho que se tenga que integrar al diseño de casa de malla, una serie de reforzamientos para soportar las cargas laterales. Entre estas mejoras se encuentra un agregado de un elemento estructural conocido como arriostre, el cual se une a los tubos de 50 cm (2") de diámetro que se encuentran en el perímetro y cuyo fin es el de brindar una mayor estabilidad a la estructura.

Para los arriostres se utilizan tubos de 3,75 cm de diámetro (1,5"), con un espesor de 1,6 mm, dando una forma de pie de amigo, que deberá de ir unido en el extremo superior a cada uno de los tubos del perímetro a una altura de 2,8 m y además contará con un refuerzo vertical en el medio de los dos tubos en forma de "A". Para su diseño se necesita cortar una sección de 3 m del tubo y unirle con soldadura en un ángulo de 45° otra pieza de 1 m de largo, la cual tendrá una armadura compuesta con varilla corrugada número 3, siendo esta parte la que irá del lado de la cimentación a dos metros de distancia del tubo de 50 cm (2") de diámetro y a un metro de profundidad. Es importante mencionar que las mayores cargas mecánicas las soportan las esquinas del módulo, por lo cual es recomendable reforzar estas partes con doble arriostre vertical y además colocar un tubo horizontal en la parte superior y otro cruzado que unan el poste de la esquina con los dos más próximos en ambas direcciones, con el fin de brindar mayor seguridad a la estructura en caso de que ocurran episodios de altas velocidades de viento (Figura 20).



Figura 20. Colocación de arriostres. (A) laterales (B) esquinas (Puntarenas, 2020).

INSTALACIÓN DE ANCLAJES

Los pilotes de anclaje tienen como función reforzar a los arriostres para soportar las cargas mecánicas producidas por el viento, mediante el apuntalamiento con cables, con el fin de mantener la integridad de la malla y la estructura. Los anclajes se pueden hacer con armaduras metálicas a modo de columna chorreado con concreto o utilizando una sección de 80 cm de largo de varilla lisa número 1, la cual en el extremo que irá del lado del cimiento se le unirán varilla corrugadas número 3, como en el caso de los arriostres y en el otro lado una doble semi circular donde se amarrará el cable (Figura 21).



Figura 21. Colocación de anclajes. (A) con columna (B) pilote de varilla lisa (Guanacaste, 2020).

Lo ideal es colocar dos pilotes de anclaje por cada poste de 50 cm (2") de diámetro de la periferia de la casa de malla. Los pilotes se deben ubicar en la misma dirección en donde se cimentó el arriostre, separados a una distancia de 1,5 m hacia ambas direcciones, por lo que la estructura quedaría sujeta con un arriostre y dos anclajes.

COLOCACIÓN DE CABLE

La colocación de los cables cumple dos funciones en la estructura de las casas de malla. La primera es que permite apuntalar los tubos de 50 cm (2") de diámetro ubicados en la periferia con los pilotes de anclaje, con lo cual se refuerza el módulo para resistir las cargas mecánicas producidas por el viento, mientras que la segunda es generar una estructura de soporte en la parte superior en forma de cuadrícula, que sustituya el uso de cerchas de metal, para asentar la malla anti-insecto en el techo y las paredes (Figura 22).

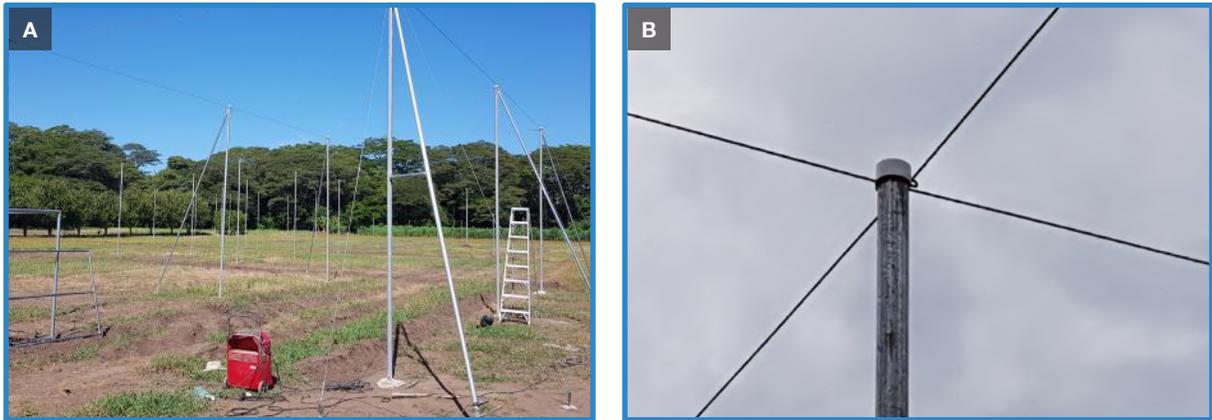


Figura 22. Colocación de cables. (A) pilotes a tubos (B) techo (Guanacaste, 2016).

Los cables que se utilizan para estos fines deben soportar tensiones mínimas de 815 kgf, encontrándose en el mercado diferentes tipos de productos con estas características, como lo son los acerados, de fibra de carbono y de poliamidas. Estos cables pueden ser trenzados o lisos y los diámetros que se utilizan oscilan entre 4,8 a 5,2 mm, los cuales van a ser sujetados a la estructura con argollas metálicas o empleado nudos de fijación, con una tensión entre 2 a 4% ejercida con un tecele (Figura 23).



Figura 23. Tipos de cables. (A) acerados (B) fibra de carbono (C) poliamida.

CONSTRUCCIÓN DE DOBLE PUERTA

Los módulos deben contar con una antesala de doble puerta, forrados en las paredes y techo con malla anti insecto, el cual se une con perfiles y resortes, como medida preventiva para la entrada de plagas. El tamaño de estos cubículos puede variar dependiendo, si el ingreso es únicamente para personal o también se necesita del tránsito de vehículos.

Esta antesala se ensambla a la estructura de casa de malla en cualquier punto que se desee y las medidas que se utilizan cuando el propósito solo es el ingreso de operarios, es de 1,7 m de ancho por 1,8 m de largo por 2 m de altura, utilizando tubo de 25 cm (1") de diámetro, con dos puertas que abren con bisagras. Mientras que cuando se necesita el ingreso de vehículos en el este recinto se debe construir con tubo estructural y las dimensiones deben ser de 4 m de ancho por 3 m de largo y una altura de 2,5 m, utilizando puertas corredizas (Figura 24).

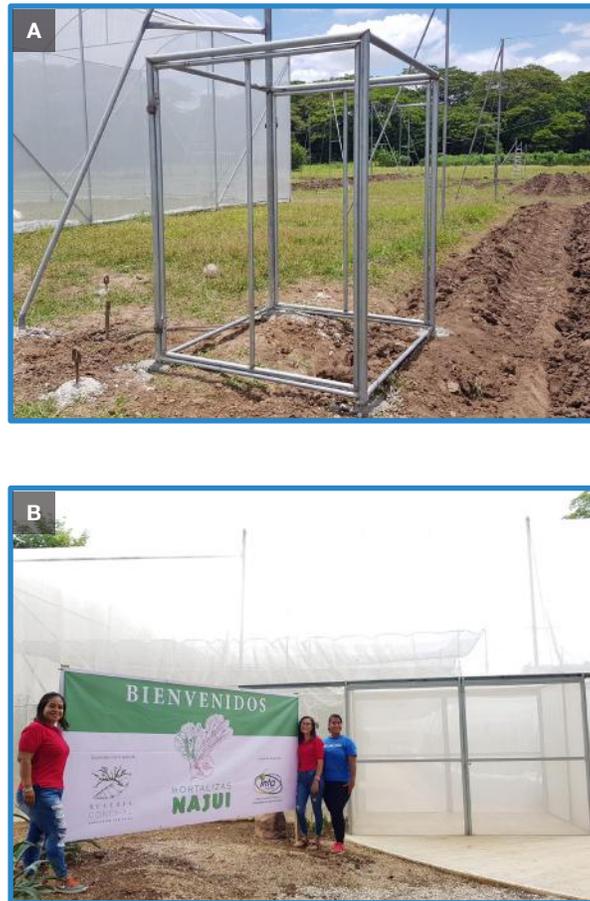


Figura 24. Tipos de antesalas de doble puerta. (A) con bisagras (B) corredizas (Guanacaste, 2020).

TEJIDO DE LAS MALLAS

Como se mencionó en el capítulo II, que abarcó el tema de diseños, existe dos formas de unir la malla a la estructura. La primera es tejiendo con alambre galvanizado porciones de malla que serán sujetados al cable que entrelaza todo el módulo y la otra es uniéndolo con costuras hechas con hilos sintéticos de 1,8 mm de diámetro, todas las porciones de la malla necesarias para cubrir la totalidad del techo y las paredes. Para calcular cuántos rollos de malla se necesitan empleando el segundo método antes mencionado, se debe conocer las dimensiones del proyecto. Por ejemplo, para un módulo de 24 x 24 m (576 m²), con 3 m de altura y con los anclajes a 2 m de distancia del perímetro, se ocuparía un área de malla no menor a 730 m², contemplando techos, paredes y el extremo que debe ir enterrado en el suelo.

A partir de este punto se debe revisar con las listas de proveedores las longitudes, anchos y porosidades (“mesh”) de mallas, para definir cual dimensión es la más conveniente, evitando desperdicio de materiales. Para este caso, si utilizamos una malla de 100 m de longitud por 3,2 m de ancho y 40 “mesh”, se ocuparía cuatro rollos con estas medidas para cubrir todo el módulo, ya que cada rollo se corta en tres secciones de 33,3 m y al unir 11 porciones entrelazando 10 cm de los bordes de la malla de manera longitudinal, con hilo sintético de 1,8 mm de diámetro, obtendríamos un solo paño de 33,3 por 34 m, el cual sería suficiente para cubrir todo el módulo. Cabe destacar que con cuatro rollos se obtienen 12 porciones de malla, por lo cual esta última sección serviría para forrar la antesala de doble puerta de ingreso (Figura 25).

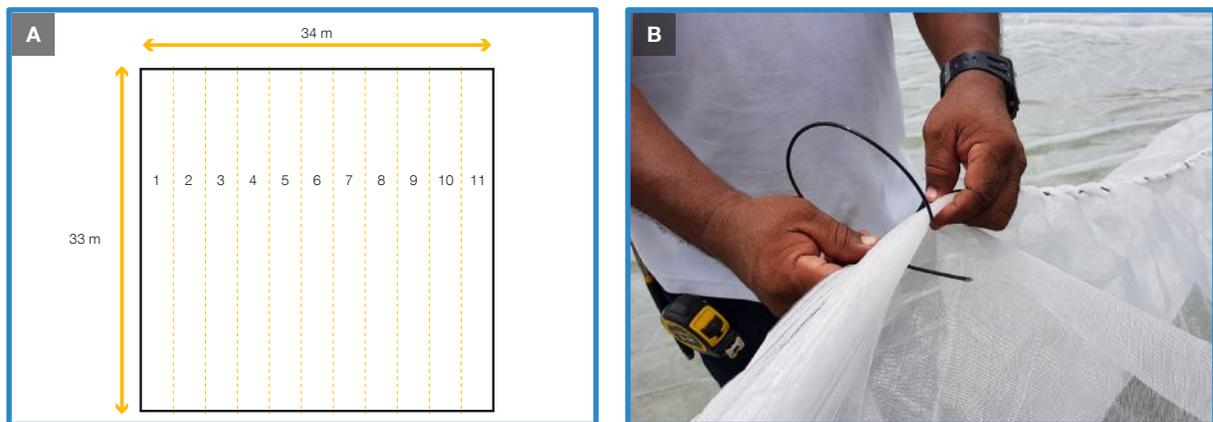


Figura 25. Tejido de las mallas. (A) diagrama de uniones de malla (B) costura. Guanacaste, 2010.

COLOCACIÓN DE LA MALLA

Una vez unidas todas las secciones de la malla, se debe extender todo el paño del lado del perímetro más largo en caso de que el módulo tenga una figura rectangular, plegando la malla en dobleces de 4 m en forma de acordeón, para reducir el peso cuando se empiece a arrastrar hacia el otro extremo por la parte más angosta. Esta acción se debe hacer en las primeras horas de la mañana, ya que es cuando se presentan las menores velocidades de viento.

Para iniciar la colocación del cerramiento se debe amarrar en los extremos de la malla, una cuerda que coincida con cada uno de los centros de las naves conformadas por el espacio que hay entre dos filas de columnas, para que un operario pueda jalar de forma coordinada con el resto de los colaboradores, la malla por el medio de los pasillos y que está vaya avanzando por arriba de los cables que se encuentran en la parte superior de la estructura. Cabe destacar que esta técnica se ha utilizado para cubrir casas de malla de diferentes tamaños que van desde los 300 hasta los 2400 m² de perímetro efectivo, por lo que su uso es muy recomendado por lo práctico y seguro que resulta (Figura 26).

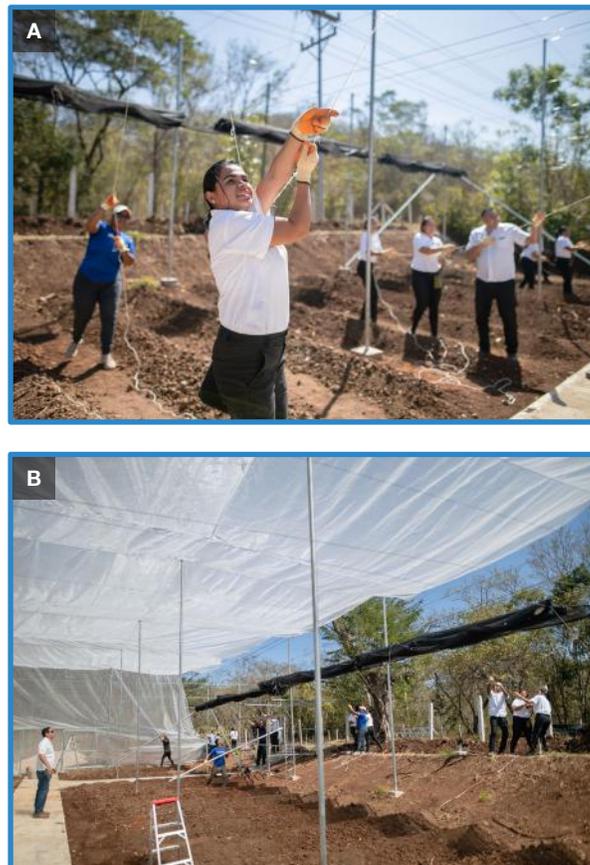


Figura 26. Colocación de la malla. (A) inicio (B) final (Guanacaste, 2019).

SUJECIÓN DE LA MALLA

Luego de colocar la malla y revisar que cubra todo el módulo, se debe sujetar inmediatamente a la estructura antes que aumente la velocidad del viento, ya que puede afectar la operación. Para realizar esta acción se necesita tensar el techo, jalándolo con personal por secciones de un extremo a otro, para luego fijarlo con gazas metálicas de 10 cm (4") de diámetro, por fuera de la parte superior de todos los tubos que se encuentran en la periferia del perímetro (tubos de 3 m de altura), con el fin de evitar movimientos de la malla que puedan generar fricciones con los postes y cables, reduciéndose así posibles daños.

Para garantizar un mejor ajuste de la gaza, se debe colocar alrededor del tubo una tira doblada con porciones de malla que haya sobrado, para resguardar el tejido de cerramiento del módulo (Fig. No. 27).

Una vez fijada la malla a los tubos como anteriormente se describió, se debe estirar la sección de malla en el extremo que converge con el suelo, con el fin de enterrar esa orilla en una zanja que previamente se tuvo que escarbar y cuya profundidad es de 50 cm, con el fin de tensar las paredes y generar un recinto completamente cerrado al cual no podrán ingresar las plagas (Figura 27).



Figura 27. Sujeción de la malla. (A) techo (B) paredes (Puntarenas, 2020).

OBRAS COMPLEMENTARIAS

Según lo analizado en capítulo I (clima interior en las casas de malla), las condiciones ambientales tanto en la época seca como en la época lluviosa son completamente diferentes, por lo que, para adaptar los cultivos a estos periodos, se debe instalar obras complementarias a la estructura de casa de malla para ser sostenible durante todo el año.

Pantalla de sombreo

La pantalla de sombreo es un sistema tipo cortina horizontal, que se coloca a 3 m de altura dentro de la casa de malla y tiene como finalidad el de reducir la incidencia de la luz que llega al cultivo, durante los periodos de mayor luminosidad, en especial en los sitios donde los registros climáticos permitan concluir que la radiación global que alcanza a una planta es perjudicial para realizar un óptimo metabolismo.

Existen diferentes tipos, dimensiones y grados de reducción de luz dentro de las pantallas de sombreo, por lo que su selección dependerá de la ubicación, nivel de inversión y tamaño del proyecto. En el caso de las zonas de bajo piso altitudinal de las provincias de Guanacaste y Puntarenas se ha venido utilizando sarán con un 50% de sombreo, el cual se adquiere según el ancho de la nave o también se pueden unir diferentes medidas de sarán con hilo sintético de 1,8 mm de diámetro para ajustarlo al espacio que se desea cubrir.

Para colocar la malla de sombreo se entreteje los dos bordes del sarán en toda la longitud del paño, con cable de 4,8 mm, con el fin de una vez sujetado a los tubos de la estructura de la casa de malla, se pueda hacer corrediza, para poderla abrir y cerrar según sea la incidencia de radiación durante determinada época del año. Se recomienda colocar dos o tres cables adicionales separados de forma equitativa en el medio de la nave para darle mayor sostén a la pantalla y que se pueda quedar lo más extendida posible. Además, lo ideal es no colocar paños de más de 25 m de longitud para no afectar el movimiento de la malla cuando se abre o cierra, por lo que si el módulo supera estas dimensiones se pueden hacer cortinas por secciones (Figura 28).

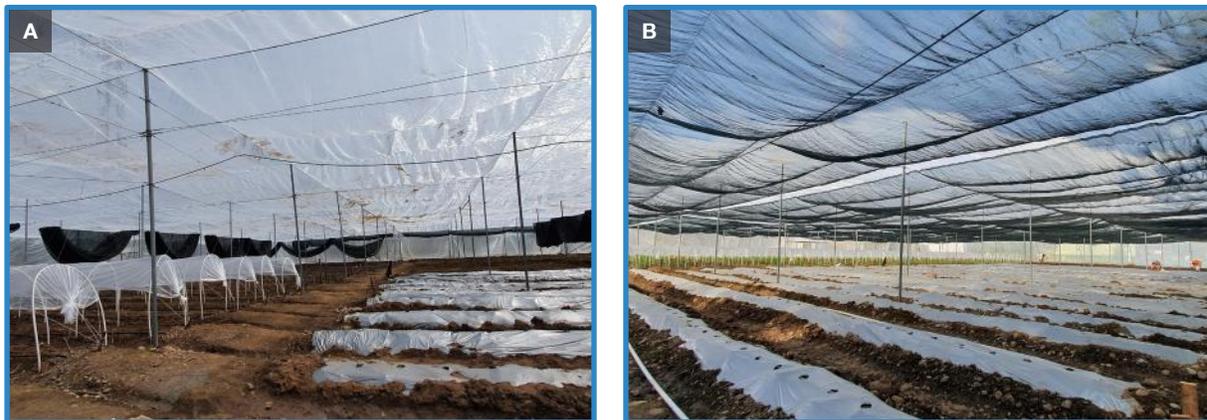


Figura 28. Pantalla de sombreado retráctil. (A) abierta (B) cerrada (Puntarenas, 2020).

Túneles

Las casas de malla están cubiertas en sus paredes y techo con tejido de filamentos porosos, que permiten el ingreso del agua de lluvia, aunque de forma amortiguada al interior del módulo. Por lo tanto, para evitar daños mecánicos y un exceso de humedad cerca del cultivo que pueda potencializar la presión de organismos fitopatógenos, se debe construir túneles con coberturas plásticas de baja densidad, para proporcionar una protección física contra las precipitaciones. Para mayor información de este tema se recomienda revisar el manual: Diseño y construcción de micro túneles y túneles altos.

Para los cultivos de porte bajo se recomienda la construcción de micro túneles de 1,1 m de ancho por 1 m de altura de la base de la era a la cresta. Los materiales que se pueden utilizar para formar los arcos son tubos plásticos, como el de PVC de 1,27 cm de diámetro (1/2 pulgada) y 6 m de longitud, el cual se corta a la mitad para hacer secciones de 3 m o recortes (tiras) de bambú de 5 cm de ancho por 3,45 m de longitud para reducir los costos. En la parte superior de los arcos se coloca una banda plástica de 1,5 m de ancho y de 50 micras de espesor, la cual se sujeta con cinta adhesiva a cuerdas que se colocan en los extremos del túnel (Fig. No. 29).

Para cultivos cuyo crecimiento excede un metro de altura como el chile dulce o tomate, se construye un túnel de porte alto, para el cual hay dos diseños, uno es en forma de “T” y otro en forma de capilla. Ambos tipos de túneles cubren un ancho de lomillo de 60 cm, pudiéndose construir la estructura de los paraleles en metal o madera, para luego agregar un arco e la parte superior que sostendrá el plástico como en el caso de los micro túneles (Figura 29).



Figura 29. Diseño de túneles. (A) micro túnel (B) túnel alto (Guanacaste, 2021).

ZONA PARA EQUIPOS DE RIEGO

Se debe contemplar un área adyacente a la casa de malla para instalar los equipos de riego, como las motos bombas, inyectores de fertilizante, electroválvulas, programadores, filtros y demás accesorios que son necesarios para impulsar el agua de riego y la nutrición hasta los cultivos que se encuentren en el interior del módulo.

La dimensión de la casetilla de riego puede variar según el área disponible y por la proyección de futuras expansiones del proyecto, que obligaría a instalar mayor cantidad de equipos en el tiempo. Además, es importante que esta estructura quede completamente cerrada, colocando en el techo láminas de zinc y en las paredes muros de block o mallas metálicas para resguardar los equipos (Figura 30).



Figura 30. Casetilla para resguardar equipos del sistema de riego (Puntarenas, 2020).

Opcionalmente es ideal colocar una puerta de acceso a la casa de malla cerca de esta zona de riego, por si hay que movilizarse de emergencia por mal funcionamiento de algún motor.

CAPÍTULO IV

MANTENIMIENTO

El mantenimiento de los componentes estructurales en las casas de malla, es fundamental para cumplir con el propósito de tener un módulo hermético, que permita mejorar el micro clima en el espacio cercano al cultivo y además suprimir el ingreso de plagas.

Cabe destacar que las prácticas de mantenimiento son más sencillas comparado con otras opciones de ambiente protegido, como los invernaderos, con la ventaja que los propios operarios que asisten con el manejo del proyecto lo pueden realizar.

LIMPIEZA DEL MÓDULO

Las mallas anti insecto están formados por filamentos porosos que permiten la recirculación de aire por el recinto, pero estos espacios también tienen la capacidad de adherir polvo, provocando una deficiente ventilación y una mayor reducción de la transmisión de luz hacia el interior.

Por esta razón se debe contar con un plan preventivo de lavado de las mallas, cuya frecuencia dependerá de la zona y la época del año, debido a que el viento en periodos secos moviliza mayores partículas de polvo. La limpieza se puede realizar cepillando las paredes con herramientas como escobas, las cuales desprenden las capas de suciedad y de forma conjunta se aplica agua a presión provenientes de una hidro lavadora o de una manguera para limpiar la malla. Es importante destacar que los equipo hidro mecánicos son más eficientes para realizar estas labores, ya que permiten cubrir más área en menor tiempo (Figura 31).



Figura 31. Lavado de mallas. (A) con manguera (B) con hidrolavadora (Guanacaste, 2022).

Si estas prácticas de manejo no se hacen de forma periódica, se le pueden adherir algas a la malla, obligando a uso de alguicidas para no desmejorar las capacidades ventilación y transmisibilidad de la luz y así no poner en riesgo el cumplimiento de la vida útil del tejido. Es importante que la malla después del lavado quede lo más parecida a su estado original para brindar a los cultivos las mejores condiciones para la producción (Figura 32).



Figura 32. Limpieza de mallas en la época seca. (A) antes del lavado (B) después del lavado (Guanacaste, 2022).

REPARACIÓN DE MALLAS

En las casas de malla, cuando hay roturas provocadas por la fricción que ejerce el viento entre el tejido y los tubos o cables, se le pueden hacer remiendos en cualquier parte del módulo, por lo que no se ocupa cambiar o desechar el material de cerramiento que tiene un valor económico importante. Esta ventaja es valiosa si lo comparamos con otras opciones de ambiente protegido como los invernaderos, debido a que estos sistemas productivos cuando ocurre un daño en el plástico del techo, se deben reemplazar reduciendo la rentabilidad de la actividad.

Los tubos de las esquinas de la estructura son los que soportan las mayores cargas mecánicas, por lo que las mallas en estos puntos son más susceptibles a romperse y permitir el ingreso de plagas. Para evitar esta situación de una forma práctica se pueden utilizar parches del mismo tejido que se cosen a la malla con hilo sintético de 1,8 mm de diámetro alrededor del hoyo (Figura 33). Cabe mencionar que entre mayor sea la altura de los tubos este problema se vuelve más recurrente, de ahí la recomendación de utilizar una altura de los tubos del perímetro de 3 m.



Figura 33. Reparación de roturas con parches de malla. (A) antes del colocar el parche (B) después colocar el parche (Guanacaste, 2022).

Las mallas que se encuentra colocadas en la parte superior del módulo, en especial las ubicadas cerca de todo el perímetro externo, son más sensibles a presentar desgaste por el roce de la malla con el cable, lo que produce roturas, que si no se tratan a tiempo se pueden hacer más grande, haciendo la reparación más compleja. Cuando esta abrasión ocurre en una sección del tejido y se presenta una abertura, se debe de inmediato arrollar los extremos de las mallas afectadas, para coserlas con hilo sintético de 1,8 mm y así unir de nuevo todo el paño (Figura 34).



Figura 34. Reparación de roturas con hilo sintético. (A) antes del remiendo (B) después del remiendo (Guanacaste, 2022).

REFERENCIAS

Acuña, J. 2003. Estructuras y control climático en invernaderos: Experiencias en Colombia. En memoria de curso: Formación sobre diseño de invernaderos y materiales de cerramiento. Red XIX.A CYTED. San José. Costa Rica.

Baille, A; 1999. Energy Cycle. *In* Greenhouse ecosystems. Stanhill, G; Enoch, HZ (eds). Elsevier. Ámsterdam. Netherlands. p. 266-285.

Bartzanas, T; Katsoulas, N; Kittas, C. 2012. Solar radiation distribution in screen-houses: A CFD approach (en línea). *Acta Hort.* 956:449–456. Consultado 05 mar 2022. Disponible en <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.52>

Castilla, N. 2005. Invernaderos de plástico. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. P. 39-206.

Day, W. y Bailey, B. 1999. Physical principles of microclimate modification. *In* Greenhouse ecosystems. Stanhill, G; Enoch, HZ. (eds). Elsevier. Ámsterdam. Netherlands: 71-80.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. El trabajo de la FAO en la Agricultura familiar (en línea). Consultado 24 mar 2022. Disponible en <http://www.fao.org/3/ca1465es/CA1465ES.pdf>

HE, KS; DY, Chen; LJ, Sun; ZL, Liu; ZY, Huang. 2015. The effect of vent openings on the microclimate inside multispans greenhouses during summer and winter seasons (en línea). *Eng. Appl. Comput. Fluid Mechanics* 9:399-410. Disponible en doi:10.1080/19942060.2015.1061553

Ilic, Z; Milenkovic, L; Šunic, L; Fallik, E. 2015. Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality (en línea). *J. Sci. Food Agric.* 95:2660–2667. Consultado 05 mar 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1002/jsfa.7000>

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2013. Producción de Pimiento Morrón en Casa de Malla para el Sur de Tamaulipas. ISBN: 978-607-37-0030-6. P. 1-6.

INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria). 2020. Base de datos de estación meteorológica EEEJN. Datos no publicados.

Mahmood, A; HU, Y; TANNY, J; Asante, E. 2018. Effects of shading and insect-proof screens on crop microclimate and production: A review of recent advances (en línea). *Sci. Hortic.* (Amsterdam). Consultado 26 feb 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.078>

Manja, K; Aoun, M. 2019. The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review (en línea). *Sci. Hortic.* (Amsterdam). 246, 110–122. Consultado 26 feb 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.10.050>

Molina-aiz, FD; Valera, DL; Peña, AA; Gil, JA; López, AA. A study of natural ventilation in an Almería type greenhouse with insect screens by means of tri-sonic anemometry (en línea). *Biosyst. Eng.* 104:224-242. Disponible en [doi:10.1016/j.biosystemseng.2009.06.013](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.06.013)

Möller, M; Cohen, S; Pirkner, M; Israeli, Y; Tanny, J. 2010. Transmission of short-wave radiation by agricultural screens (en línea). *Biosyst. Eng.* 107, 317–327. Consultado 24 feb 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.09.005>

Morecroft, M; Crick, H; Duffield, S; Macgregor, N. 2012. Resilience to climate change: translating principles into practice. *Journal of Applied Ecology.* 49, 547-551.

Pirkner, M; Tanny, J; Shapira, O; Teitel, M; Cohen, S; Shahak, Y; Israeli, Y. 2014. The effect of screen type on crop micro-climate, reference evapotranspiration and yield of a greenhouse banana plantation (en línea). *Sci. Hortic.* (Amsterdam). 180, 32–39. Consultado 18 feb 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.050>

PRONAP (Programa nacional de ambientes protegidos). 2011. Boletín mensual: Generalidades sobre mallas anti insecto. APB -040. Octubre del 2011. P. 2-4.

Ramírez, R. 2021. Evaluación del efecto del ambiente generado en cuatro sistemas productivos sobre el rendimiento productivo y adaptabilidad de cuatro cultivares de chile dulce tipo Bell. *Archivos Técnicos del INTA.* Código: HT 08 MG 301-1-19. P. 10-51.

Ramírez, R. Aguilar, J. León, R. 2010. Introducción a los Cultivos Protegidos bajo Coberturas Plásticas en Costa Rica. Imprenta Nacional. San José, Costa Rica. p. 121-123.

Ramírez, R; Aguilar, J; Meza, L. 2018. Adaptabilidad de cultivares de chile dulce bajo invernadero. *Revista Alcances Tecnológicos.* 12(1):13-23. 2018. 14 p.

Ramírez, R; Bolaños, A; Quirós, E. 2022. Evaluación del rendimiento y adaptabilidad de cuatro cultivares de chile dulce (*Capsicum annuum*) tipo Bell, en la época lluviosa, utilizando tres sistemas productivos de ambiente protegido en el cantón de Cañas, Guanacaste. Datos no publicados.

Shahak, Y. 2008. Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel (en línea). *Acta Hort* 161–168. Consultado 12 feb 2022. Disponible en <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.770.18>

Tanny, J. 2013. Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review (en línea). *Biosyst. Eng.* Consultado 12 feb 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.10.008>

Tanny, J; Y Cohen, S. 2003. The effect of a small shade net on the properties of wind and selected boundary layer parameters above and within a citrus orchard (en línea). *Biosystems Engineering*. 84:57–67. Consultado 12 de feb. 2022. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00233-7](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00233-7)

Tanny, J; Haijun, L; Cohen, S. 2006. Airflow characteristics, energy balance and eddy covariance measurements in a banana screenhouse. *Agricultural Forest Meteorology*. p. 105–118.

Teitel, M; Garcia-Teruel, M; Ibanez, PF; Tanny, J; Laufer, S; Levi, A; Antler, A. 2015. Airflow characteristics and patterns in screenhouses covered with fine-mesh screens with either roof or roof and side ventilation (en línea). *Biosystems Engineering*. 131, 1–14. Consultado 15 feb 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.12.010>

Teitel, M; Liang, H; Tanny, J; García-Teruel, M; Levi, A; Ibanez, P; Alon, H. 2017. Effect of roof height on microclimate and plant characteristics in an insect-proof screenhouse with impermeable sidewalls (en línea). *Biosystems Engineering*. 162, 11–19. Consultado 16 feb 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.07.001>

Urban, L. 1997. Introduction a la production sous serre. En: CASTILLA, N. *Invernaderos de plástico*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España. P. 147-158.

Villagrán, E; Jaramillo, J; León, R; Ramírez, R. 2020. Comportamiento micro climático diurno, en temporada seca, de tres estructuras para agricultura protegida en el trópico seco. *UNED Research Journal* 12(2):2-10.

EL AUTOR



Roberto Ramírez Matarrita

rramirezm@inta.go.cr

<https://orcid.org/0000-0001-9843-8999>

Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional. Licenciado en Administración de Empresas Agropecuarias de la Universidad Estatal a Distancia. Master en Desarrollo Integrado en Regiones bajo Riego de la Universidad de Costa Rica. Cuenta con más de 20 años de experiencia como investigador del programa de horticultura del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria de Costa Rica (INTA), desarrollando opciones productivas de ambiente protegido orientadas a unidades de agricultura familiar para la producción de hortalizas en condiciones agro climáticas cálidas, como las presentes en las zonas cercanas al nivel del mar.

INSTITUCIONES PARTICIPANTES



Instituto Nacional de Innovación y
Transferencia en Tecnología Agropecuaria

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria



**Instituto Dominicano de Investigaciones
Agropecuarias y Forestales**

idiap

Instituto de Investigación
Agropecuaria de Panamá



*Fundación Para El Fomento y Promoción
de La Investigación y Transferencia de
Tecnología Agropecuaria de Costa Rica*



Secretaría técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org