



CAPÍTULO 1 III

PRODUCCIÓN BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS

Jorge Eliecer Jaramillo Noreña¹
Viviana Patricia Rodríguez²
Paula Andrea Aguilar Aguilar³
Juan Felipe Restrepo⁴

Las plantas cultivadas a campo abierto están sometidas a una serie de problemas y peligros, como el estrés calórico por altas o bajas temperaturas y factores meteorológicos, entre ellos la lluvia, el granizo y las heladas (Figura 1.1). Estas condiciones adversas son especialmente perjudiciales en algunas especies que en general no ocupan grandes extensiones de tierra (por ejemplo, los cultivos de flores y hortalizas) y en aquellas que en condiciones climáticas adversas se ven sometidas a daños, retrasos de crecimiento, disminuciones de su producción, ataque de plagas y enfermedades, desórdenes fisiológicos y mortandad de plantas; haciendo de estos cultivos negocios con alto grado de incertidumbre y aumento del riesgo, que en muchas ocasiones no compensa la rentabilidad obtenida. Para tratar de minimizar este riesgo y maximizar los beneficios esperados, los agricultores pueden hacer uso de la tecnología de invernaderos, que ha sido creada precisamente con este fin y que en los últimos 20 años ha tenido un avance significativo impulsado por los desarrollos tecnológicos en otros campos, como en la informática, la electrónica y la industria química, entre otras (Shany, 2007).

1. Ingeniero Agrónomo. MSc. Entomología. Investigador y coordinador Red Hortalizas CORPOICA C.I. La Selva. jejaramillo@corpoica.org.co

2. Ingeniera Agropecuaria. Profesional Asistente CORPOICA C.I. La Selva. vipar03@yahoo.es

3. Ingeniera Agropecuaria. Profesional Asistente CORPOICA C.I. La Selva. pagui18@gmail.com

4. Ingeniero Agrícola. MSc. Director técnico Inverca Colombia. frestrepo@centroaceros.com





Figura 1.1. Problemas y peligros de la producción a campo abierto

La técnica de protección o forzado de cultivos consigue modificar, total o parcialmente, las variables ambientales haciendo que los cultivos se desarrollen con cierta independencia de los factores climáticos. Esta técnica empezó a practicarse desde tiempos muy antiguos. En el siglo XV, coincidiendo con el fervor económico y cultural en Europa, aparecen las *'orangeries'* francesas; en ellas se trataba de disponer de cultivos adaptados a otros climas, en particular naranjas y limones, por sus propiedades medicinales. Los primeros en disfrutar de estas construcciones fueron ricos mercaderes que mantenían relaciones comerciales con países de ultramar. Ya a partir del siglo XVIII, la nobleza y casas reinantes se interesaron por este sistema, utilizándolo para el cultivo de plantas exóticas recogidas en otras latitudes. El empleo generalizado del vidrio y su adaptación como material de cerramiento en invernaderos permitió su construcción a mayor escala, sobre todo por parte de viveristas y cultivadores de plantas ornamentales. En Holanda se encuentra el exponente más importante de esta técnica de cultivo, donde de 30 ha en 1904 pasa a casi 7.000 en 1970. Sin embargo, el alto costo de estos invernaderos, derivado por la especial estructura para soportar el peso del cristal y por el precio del mismo, no ayudó a la rápida extensión de esta tecnología (López y Salinas, 2000).

Seguidamente, la crisis del petróleo del año 1973 impulsó la realización de investigaciones agrarias encaminadas a disminuir la cantidad de energía consu-



mida por unidad producida. Estas consiguieron materiales de cerramiento de gran transmisividad a la radiación solar y con buen efecto termoaislante de las radiaciones de onda larga, poco pesado, lo que hizo posible pasar a un esqueleto estructural más económico. Con la introducción de los elementos plásticos flexibles (a principios de los años 70) surge la rápida expansión de los invernaderos, que fue facilitada por el abaratamiento de los costos tanto de estructuras como de materiales, aunque estos presentaban algunos problemas lógicos en una naciente industria de formulación y fabricación (López y Salinas, 2000); entre los defectos estaban:

- Falta de uniformidad en el espesor de la película.
- Rápida degradación.
- Poca resistencia mecánica con fácil rotura por el viento.
- Nula protección térmica con bajas temperaturas.

Todos ellos constituían un freno al desarrollo de los cultivos bajo invernadero plástico, por tanto, a pesar de conseguirse mejoras en precocidad, calidad y cosecha total, comparadas con el cultivo al aire libre no podían dar todo su potencial productivo, especialmente en épocas frías, por la indefensión frente a las bajas temperaturas; no obstante, la incorporación de formulaciones adecuadas, los mejores sistemas de transformación, un manejo más cuidadoso y el nacimiento de materiales parcialmente termoaislantes a la radiación infrarroja de onda larga mejoraron su prestación. A la par que en los distintos países del mundo se desarrollaban las industrias del plástico, la evolución de la superficie cultivada bajo película de dicho material aumentó considerablemente (López y Salinas, 2000).

Actualmente, la revolución que supone el desarrollo de materiales plásticos y su aplicación en el mundo de la agricultura está propiciando un profundo cambio en la concepción de la práctica agraria. Así, estos materiales no solo intervienen en la mejora y manejo del agua (redes de distribución, depósitos reguladores, sistemas de riego y redes de avenamiento), sino que también permiten alterar las condiciones ambientales del medio, acolchados, pequeños túneles, mallas de protección, e incluso con la misma cubierta de invernaderos (López y Salinas, 2000).

Los invernaderos se utilizan para asegurar la producción y calidad de ciertos cultivos que a campo abierto ni siquiera se acercan a su potencial productivo y para los cuales son necesarias condiciones de clima óptimo que solo se dan en determinadas épocas del año. Los controles de temperatura, humedad relati-



va, corrientes de aire y composición atmosférica son esenciales, como lo son además, el control del agua y de los fertilizantes, el mantenimiento del nivel de oxígeno cerca de las raíces y la sanidad del cultivo (Shany, 2007).

La única justificación para cultivar bajo cobertura es cuando el beneficio económico obtenido es significativamente mayor, comprobándolo con un cultivo a campo abierto. Tal como lo expresa Shany (2007), es fundamental llevar a cabo un estudio de factibilidad antes de establecer el proyecto a fin de justificar la inversión requerida. Según este mismo autor, los factores que definen la necesidad de cultivar bajo cobertura son:

- **Tipo del cultivo**

Cuando un cultivo no está adaptado a las condiciones naturales locales y debe cultivarse fuera de la estación o fuera de su área natural.

- **Mejoramiento de la calidad de los frutos**

Cuando se pretende comercializar el producto en mercados exigentes, tanto a nivel nacional como de exportación. La calidad de la producción en un cultivo protegido siempre será mejor comparándola con la de un cultivo a campo abierto, ya que la cobertura facilita el control del microclima y también la producción contra factores como el polvo, viento y la intensa radiación solar, que pueden afectar la calidad de la producción.

- **Necesidad de reemplazar el suelo**

Un suelo enfermo, con alta presencia de hongos, bacterias, nematodos, etc., puede alcanzar un nivel de inóculo en el cual ningún tratamiento asegure su desinfección, por lo que surge la necesidad de sustituirlo por un sustrato artificial. Igualmente, un suelo muy agotado, muy pobre por su origen natural o de una mala estructura física (muy arcilloso o pedregoso), justifica su reemplazo por un sustrato artificial. Cuando surge la necesidad de reemplazar el suelo, deberá considerarse que la inversión requerida solamente se justificará si se implementa un sistema de cultivo protegido.

- **Protección contra plagas**

Cuando existe en la región una alta incidencia de plagas, que no permite llevar a cabo el cultivo de manera económica en las condiciones de campo abierto.

- **Incremento de rendimientos**

Optimización del aprovechamiento de área de la finca. Los rendimientos que se logran en invernaderos en general duplican o triplican aquellos obteni-



dos en un cultivo a campo abierto. Indudablemente, todo depende del adecuado manejo agronómico que se aplique al cultivo y no únicamente de la variedad. El agricultor mediano o pequeño debe considerar la posibilidad de producir en condiciones protegidas, pues tiene que lograr el mejor rendimiento de su terreno.

Considerando que se ha tomado la decisión de proteger el cultivo, aparecen algunas preguntas: ¿Qué tipo de construcción queremos? ¿Qué tipo de cobertura? ¿Será necesario construir un invernadero completo con sistemas de calefacción, ventilación y demás, o será suficiente una construcción liviana o tal vez solo túneles o casa de malla?

Las respuestas dependerán, por supuesto, de las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las condiciones naturales adversas en el campo?
- ¿Qué nivel de protección requiere el cultivo?
- ¿Cuáles son los requerimientos del cultivo con relación al clima de la región?

La etapa de planificación del proyecto tiene como objetivo encontrar las respuestas a dichos interrogantes. En el momento de la planificación de la construcción del invernadero deben considerarse los requerimientos del cultivo con relación al clima de la región.

▶ **LA PROBLEMÁTICA DEL CULTIVO BAJO COBERTURA**

Según Shany (2007), un cultivo bajo cubierta desde el momento de su establecimiento puede sufrir una serie de problemas, que proviene del microclima existente dentro de la construcción cerrada.

Debe considerarse que:

- Las temperaturas durante el día son más altas que las del exterior por el denominado efecto invernadero.
- Las temperaturas durante la noche pueden ser menores que las de afuera debido a la falta de movimiento de aire (efecto de la inversión térmica).
- La humedad relativa es más alta dentro de la construcción por la falta de aireación. La construcción ejerce una barrera física que impide el movimiento natural del aire, lo que no solamente afecta el cuaje de los frutos al reducirse la liberación de polen de las flores sino que también es el principal causante de la aparición de enfermedades en los cultivos dentro de los invernaderos.



- La construcción produce sombreado, eliminando una parte esencial de la radiación solar que es vital para el proceso de la fotosíntesis y el buen desarrollo y producción de las plantas. El sombreado se incrementa por la acumulación de polvo o gotas de agua sobre el techo, dependiendo de la calidad de material que se use para la cobertura del mismo.
- La condensación de la humedad en el techo provoca el goteo de agua sobre el cultivo, generalmente en las horas de la mañana, generando condiciones propicias para el desarrollo de enfermedades.
- El suelo en el invernadero puede sufrir un rápido agotamiento debido a la intensidad de su uso.

Para evitar dichos problemas, obtener un cultivo productivo y aprovechar el potencial que ofrece el invernadero, es sumamente importante el diseño correcto de la construcción; sin olvidar que un cultivo protegido tiene una serie de requerimientos, que son parte integral de su manejo.

Requerimientos básicos para el establecimiento de un cultivo protegido

1. Alta inversión primaria (construcción) y secundaria (manejo).
2. Conocimiento profundo del cultivo (a nivel botánico y fisiológico).
3. Uso de avanzadas técnicas de manejo agronómico, las cuales incluyen:
 - Adaptación de variedades y de cultivares.
 - Preparación y desinfección adecuada del suelo.
 - Cobertura de las camas.
 - Uso de semillas y plántulas de alta calidad.
 - Distancias de siembra adecuadas.
 - Prácticas de manejo integrado de plagas y enfermedades.
 - Sistemas de riego localizado.
 - Manejo preciso del fertirriego.
 - Tutorado y poda del cultivo.
 - Equipos de control climático, si se requieren (Shany, 2007).

El invernadero es una estructura cubierta con algún material que permite el paso de la luz desde el exterior y que tiene la finalidad de desarrollar cultivos en un ambiente en el que se puedan controlar variables tales como la temperatura y la humedad relativa, entre otras. Se pueden tener construcciones simples, diseñadas por los agricultores a bajo costo, o sofisticadas, con instalaciones y equipos para un mejor control del ambiente. Los invernaderos generalmente son



utilizados para cultivos de porte alto como tomate, pepino, pimentón, melón, flores y otros (Jaramillo, Rodríguez, Guzmán, Zapata y Rengifo, 2007).

Un invernadero es toda aquella estructura cerrada, cubierta con materiales transparentes, dentro de la cual es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima y, con ello, cultivar plantas en condiciones óptimas. El microclima bajo invernadero debe ser el más próximo a las condiciones biológicas óptimas para la variedad cultivada, que maximice el proceso de fotosíntesis y de esta manera obtener más producción por metro cuadrado. Desde el punto de vista de la competitividad, permite incrementar la productividad, minimizar costos de producción, ser eficientes en el manejo de recursos, generar empleo y poder reinvertir en más tecnología para alcanzar cultivos de alto rendimiento (Jaramillo J. *et al.*, 2007).

Entonces, un invernadero debe ser resistente a la fuerza dinámica del viento, diseñado con parámetros ópticos y térmicos donde se pueda adicionar un conjunto de mecanismos con los que el hombre instaure el microclima ideal para obtener el máximo rendimiento de una especie vegetal con fines comerciales o de investigación.

Con base en esta definición, se puede hacer una clasificación de los invernaderos de según el tipo de estructura y la cantidad de mecanismos utilizados para crear el microclima ideal dentro de esta.

De acuerdo con el tipo de estructura se pueden clasificar en: Invernaderos y Cubiertas.

▶ INVERNADERO

La cantidad de equipos que ayudan a controlar el clima interior de los invernaderos varía en función de las necesidades de climatización y los costos. Los invernaderos pueden ser clasificados en relación con el control de los factores meteorológicos en: climatizados, semiclimatizados y no climatizados.

Los **climatizados** (Figura 1.2) son los que poseen todos los mecanismos eléctricos, electrónicos y mecánicos de accionamiento automático necesarios para el control de temperatura, humedad relativa, contenido de CO₂ y luz. Estos invernaderos hacen uso de energía transformada en sus actividades normales y su empleo depende de una explotación agrícola económicamente rentable y elevada (Barbosa, 2000).





Figura 1.2. Invernaderos climatizados

Los invernaderos **semiclimatizados** (Figura 1.3) tienen solo algunos equipos de climatización, y aunque se acercan a obtener condiciones ideales de clima, no las alcanzan. Tales equipos pueden estar dotados o no de automatización, aunque en el segundo caso el uso de los equipos sería más ineficiente. Se instalan así básicamente por costos o porque no se considera necesario controlar el clima de una manera rigurosa, debido a la relación costo:beneficio. Se usan para explotaciones agrícolas altamente rentables (Barbosa, 2000).



Figura 1.3. Invernadero semiclimatizado

Los invernaderos **no climatizados**, generalmente denominados **cubiertas** (Figura 1.4), solo incluyen la estructura y algún tipo de cobertura traslúcida, teniendo en cuenta que son estructuras diseñadas con base en criterios técnicos, tales como conservación de la energía, captación de luz y resistencia a los vientos (Barbosa, 2000).



En cualquiera de los tres casos anteriores la estructura puede ser la misma, sin olvidar que debe ser especialmente diseñada para tal fin, preferiblemente en un material durable y resistente. Lo que varía es la cantidad y el tipo de equipos y si estos están automatizados o no.

Por el momento, el que más viabilidad económica tiene para el pequeño y mediano productor (de acuerdo con sus condiciones económicas), dirigido a la producción comercial de hortalizas para el mercado nacional, no posee ningún tipo de equipo que utilice energía transformada, y su utilización está condicionada a la aplicación de factores físicos de la propia naturaleza del ambiente. Usualmente se construye en materiales poco durables y resistentes, como la guadua y la madera. Es de advertir que solo provee un resguardo contra la intemperie, protegiendo al cultivo de la lluvia o el granizo; además, en los momentos calurosos del día aumenta mucho su temperatura interior, lo que puede afectar algunos procesos internos de las plantas (Jaramillo J. *et al.*, 2007).



Figura 1.4. Cubiertas

Tipos de invernaderos

Los diferentes tipos de invernaderos emergen a través del tiempo conforme a las adaptaciones que van surgiendo gracias a los productores o fabricantes, teniendo en cuenta diversos factores de acuerdo con las condiciones de clima y topografía de cada región (Figura 1.5).

La sencillez o complejidad de la estructura depende del número de factores climáticos (tales como lluvia, viento, temperatura y humedad relativa) que



serán manejados para obtener el microclima adecuado para un cultivo en las diferentes etapas de crecimiento y producción. El tipo de estructura a utilizar dependerá de los siguientes factores: radiación solar, las temperaturas mínima y máxima durante el año, la distribución de las precipitaciones, la variación de la humedad relativa, el riesgo de las heladas o el granizo, la dirección o intensidad de los vientos, la altitud sobre el nivel del mar y la latitud.

Para definir dicho tipo de estructura se necesita contar con una serie de datos climáticos históricos. Es importante conocer las tecnologías de la construcción moderna a fin de lograr una estructura eficiente, segura y económica, razón por la que es aconsejable contar con la asistencia técnica especializada (Makishima y Alves, 1998).

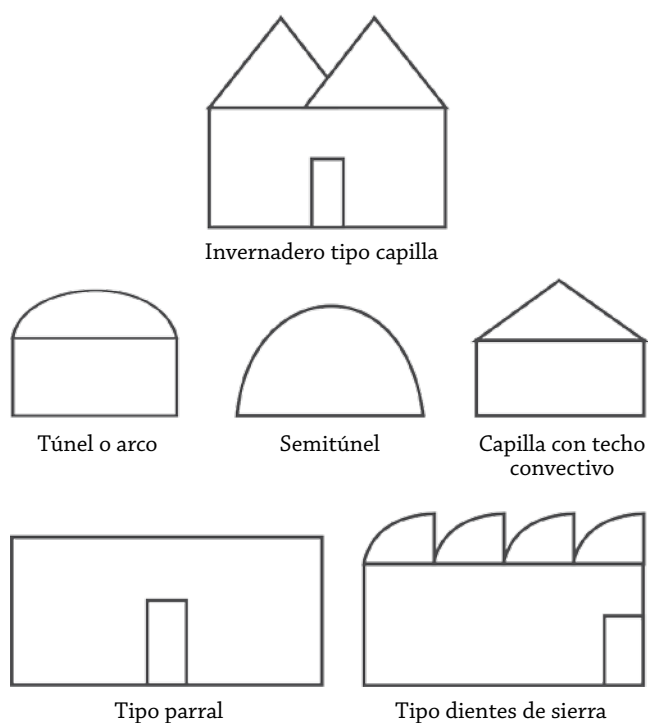


Figura 1.5. Tipos de estructura de invernaderos (Tomado de la circular técnica 'da embrapa hortaliças').

Invernadero tipo túnel o arco

Por su forma en arco ofrece gran resistencia a los vientos. Es recomendable para regiones con velocidades de viento superiores a 60 km/hora. Se trata de invernaderos que tienen una altura y anchura variables (Figura 1.6).





Figura 1.6. Invernadero tipo túnel

Ventajas

- Alta resistencia a los vientos y fácil instalación (recomendable para productores que se inician en el cultivo protegido).
- Alta transmisión de la luz solar.
- Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como para semi-rígidos.

Desventajas

- Relativamente pequeño, volumen de aire retenido (escasa inercia térmica) con lo que puede ocurrir el fenómeno de inversión térmica.
- Solamente recomendado en cultivos de bajo a mediano porte (lechuga, flores, frutilla, etc.).

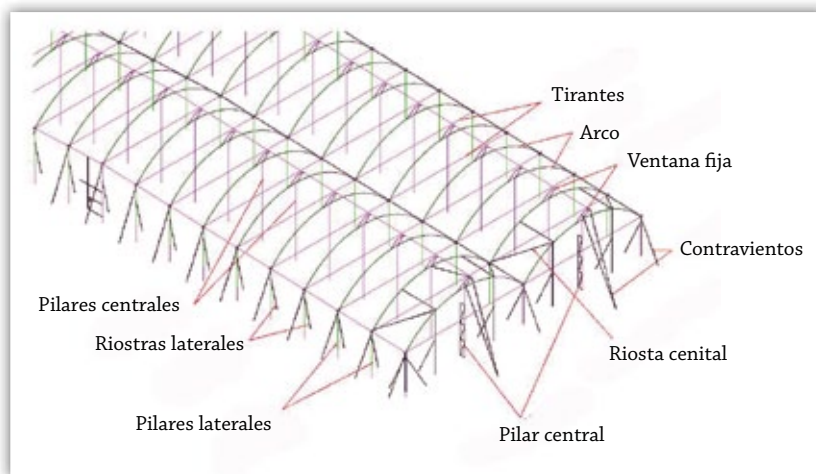
Invernadero semitúnel o semicilíndrico

Se caracteriza por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. El empleo de este tipo de invernadero se está extendiendo a causa de su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas. Los soportes son de tubos de hierro galvanizado y tienen una separación interior de 5x8 o 3x5 m. La altura máxima **a canal** de este tipo de invernaderos oscila entre 3,5 y 5 m. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2,5 a 4 m. El ancho de estas naves está comprendido entre 6 y 9 m, permitiendo el adosamiento de varias naves en batería. La ventilación es mediante ventanas cenitales que se abren hacia el exterior del invernadero. Cuando se unen varias naves se conoce como multitúnel (Figuras 1.7 y 1.8).





Figura 1.7. Invernadero multitúnel



**Figura 1.8. Plano de un invernadero metálico tipo semitúnel
(Cortesía: Inverca Colombia)**

Ventajas

- Estructuras con pocos obstáculos en su estructura.
- Buena ventilación.
- Buena estanqueidad a la lluvia y al aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento y facilita su accionamiento mecanizado.
- Buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Fácil instalación.

Desventajas

- La principal desventaja es su elevado costo inicial.



Invernadero tipo capilla

Los invernaderos de capilla simple tienen el techo formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas. La estructura puede ser semejante a un galpón. Funciona muy bien en regiones con altas precipitaciones pero tienen poca resistencia a los vientos, por lo que se deben diseñar estructuras resistentes. Generalmente es el primer modelo de invernadero que adoptan los agricultores (Figura 1.9).

El ancho que suele darse a estos invernaderos es de 10 a 12 metros. La altura en cumbre está comprendida entre 3,5 y 4 m. Si la inclinación de los planos de la techumbre es mayor a 25° no tiene inconvenientes en la evacuación del agua de lluvia. La ventilación es por ventanas frontales y laterales. Cuando se trata de estructuras formadas por varias naves unidas, la ausencia de ventanas cenitales dificulta la ventilación.



Figura 1.9. Invernadero tipo capilla

Ventajas

- Construcción de mediana a baja complejidad.
- Utilización de materiales con bajo costo, según la zona (postes y maderos de eucalipto, pinos y otros).
- Apto para materiales de cobertura tanto flexibles como rígidos.

Desventajas

- Problemas de ventilación con invernaderos en grandes extensiones.
- Mayor número de elementos que disminuyen la transmisión (mayor sombreo).
- Baja estanqueidad, lo que dificulta su climatización.



Invernadero plano o tipo parral

Se utiliza en zonas poco lluviosas. Su estructura se encuentra constituida por dos partes claramente diferenciadas, una vertical y otra horizontal. La estructura vertical son los soportes y los paneles de plástico (tanto los apoyos exteriores como interiores pueden ser rollizos de pino o eucalipto y tubos de acero galvanizado); la estructura horizontal constituye el techo con su estructura y lámina de plástico (Figura 1.10).



Figura 1.10. Invernadero plano

Ventajas

- Estructura relativamente económica.
- Gran adaptabilidad a la geometría del terreno.
- Mayor resistencia al viento.
- Presenta una gran uniformidad luminosa.

Desventajas

- Poco volumen de aire.
- Mala ventilación.
- La instalación de ventanas cenitales es bastante difícil.
- Rápido envejecimiento de la instalación.
- Poco o nada aconsejable en lugares lluviosos.
- Peligro de hundimiento por las bolsas de agua de lluvia que se forman en la lámina de plástico.
- Peligro de destrucción del plástico y de la instalación por su vulnerabilidad al viento.
- Difícil mecanización y dificultad en las labores de cultivo por el excesivo número de postes, alambre de los vientos, piedras de anclaje, etc.



- Entrada de agua al interior por goteo del agua de lluvia, ya que es preciso hacer orificios en el plástico para la unión de las dos mallas con alambre, lo que favorece la proliferación de enfermedades fúngicas, debido a la acumulación de humedad relativa.
- No hay buena dispersión de los rayos del sol, en algunas horas del día, al interior del invernadero.

Invernadero tipo diente de sierra

La característica principal que distingue este modelo es el diseño de la cubierta, semejante a los dientes de una sierra, siendo una de las más eficientes en cuanto a ventilación. La instalación debe ser en el sentido de los vientos predominantes. Es un poco deficiente en cuanto al aprovechamiento de la luz del sol. Dependiendo de la región, su utilización está limitada a cultivos no muy exigentes en luz (Figura 1.11).



Figura 1.11. Invernadero tipo diente de sierra

Invernaderos de cristal o tipo venlo

Este tipo de invernadero, también llamado **venlo** (Figura 1.12), es de estructura metálica prefabricada con cubierta de vidrio y se emplea generalmente en el norte de Europa. El techo de este invernadero industrial está formado por paneles de vidrio que descansan sobre los canales de recogida de pluviales y sobre un conjunto de barras transversales. La anchura de cada módulo es de 3,2 m. Desde los canales hasta la cumbre hay un solo panel de vidrio de una longitud de 1,65 m y una anchura que varía desde 0,75 m hasta 1,6 m. La separación entre columnas en la dirección paralela a los canales es de 3 m. En sentido transversal están separadas 3,2 m si hay una línea de columnas debajo de cada canal, o 6,4 m si se construye algún tipo de viga en celosía.





Figura 1.12. Invernadero tipo venlo

Ventajas

- Buena estanqueidad, lo que facilita una mejor climatización de los invernaderos.

Desventajas

- La abundancia de elementos estructurales implica una menor transmisión de luz.
- Su elevado costo.
- Tiene naves muy pequeñas, debido a la complejidad de su estructura.

Ventajas y desventajas de la producción bajo invernadero

Son múltiples las ventajas de la producción bajo condiciones protegidas (Sganzerla, 1987; Wittwer y Castilla, 1995; Zeidan, 2005; Jaramillo *et al.*, 2007):

Ventajas

- Protección contra condiciones climáticas extremas. Permite un control contra las lluvias, granizadas, bajas temperaturas, vientos, tempestades, calentamiento, enfriamiento, sombrero y la presencia de rocío en los cultivos, lo que implica una disminución del riesgo en la inversión realizada.
- Control sobre otros factores climáticos. La siembra bajo invernadero permite realizar un control de factores como el calentamiento, enfriamiento, sombrero y enriquecimiento con CO₂.
- Obtención de cosechas fuera de época. Cultivando bajo invernadero es posible producir durante todo el año, independientemente de las condiciones



climáticas externas. De igual modo, hay una adaptación de la producción y el mercado a los requerimientos del mercado local y de exportación, extendiendo los periodos de producción y mercadeo, logrando así un aprovisionamiento continuo del producto.

- Mejor calidad de la cosecha. Dentro de un ambiente protegido, las condiciones de producción favorecen la obtención de productos sanos, similares en forma y tamaño, con madurez uniforme, más sabrosos y con excelente presentación, características que estimulan sensiblemente el consumo; además, se permite la utilización de variedades mejoradas, como las de tipo larga vida.
- Preservación de la estructura del suelo. En ambiente protegido, el suelo permanece bien estructurado, firme y no sufre las consecuencias de la erosión a causa de las lluvias o el viento; así mismo, se disminuye el lavado de nutrientes dentro del perfil del suelo, por lo que las plantas adquieren mayor disponibilidad de ellos, reflejándose en mayor productividad por unidad de área.
- Siembra de materiales seleccionados. En los países de agricultura avanzada, el mejoramiento genético desarrolló materiales de alto rendimiento y larga vida, que exigen condiciones especiales con una producción que solo es viable bajo condiciones de invernadero.
- Aumento considerable de la producción. Es lo que estimula a los productores a aplicar esta técnica de producción. Una planta, expuesta a diferentes factores favorables bajo invernadero, produce de tres a cuatro veces más, aún en épocas críticas, que los cultivos desarrollados a campo abierto en condiciones normales. La alta productividad, asociada a la posibilidad de producción y comercialización en la época más oportuna, compensa la inversión inicial, con ganancias adicionales para el productor.
- Ahorro en costos de producción. Al existir un ahorro en los costos de producción, se aumenta la producción por unidad de área, se produce un incremento en la eficiencia de los insumos agrícolas, se disminuye el número de insumos aplicados y hay mayor comodidad en la realización oportuna de las labores.
- Disminución en la utilización de plaguicidas. Al tener mejor control de organismos nocivos, se previene el ataque de enfermedades e introducción de insectos plaga; además, dentro del invernadero es posible la utilización de mallas y cubiertas para evitar la entrada de estos.
- Aprovechamiento más eficiente del área de cultivo. Al tener altos rendimientos, no se requiere mucha área sembrada. El cultivo al estar protegido permite incrementos en la densidad de siembra por m².
- Uso racional del agua y de los nutrientes. El ahorro de agua es importante, puesto que la producción bajo cubierta va acompañada de sistemas eficientes –como el riego por goteo–, y en el caso de los nutrientes, estos se agregan a



diario en fertirriego, lo que permite suministrar a la planta agua y nutrientes de acuerdo con sus requerimientos según el estado fenológico, evitando pérdidas por lixiviación.

- Realización de una programación en las labores del cultivo y de la producción. La primera cosecha es mucho más precoz, lo que permite un mayor periodo de producción y con esto mayor productividad por planta y por unidad de área.
- Mayor eficiencia en la utilización de mano de obra en épocas de lluvias. Esto sucede debido a que los operarios no requieren suspender sus labores, porque están protegidos de las precipitaciones dentro del invernadero en estas temporadas.
- Establecimiento de procesos de producción más limpia con énfasis en Buenas Prácticas Agrícolas.

Es importante anotar que todos estos factores se ven maximizados en la medida que pueda existir control climático dentro del invernadero.

Desventajas

- Alta inversión inicial. Para arrancar con el invernadero se requiere necesariamente de una infraestructura, cuyo costo depende de los materiales con que se construya, además de precisar de una inversión para el sistema de fertirrigación.
- Requiere de personal especializado. Es necesario tener personal capacitado en las diferentes labores del cultivo, manejo del clima y la fertirrigación. Sin embargo, tener personal capacitado hoy en día es más una necesidad y una ventaja para cualquier empresa; para el caso de los pequeños productores que no tienen fácil acceso a la asistencia técnica, el no tener personal especializado puede llevarlos a cometer errores en el manejo del invernadero y los cultivos.
- Alta supervisión. Requiere de monitoreo constante de las condiciones ambientales dentro del invernadero para un mejor control de plagas y enfermedades, y del desarrollo productivo del cultivo.

Parámetros a tener en cuenta para la elección de un invernadero

- Tipo de cultivo (producción y calidad requeridas).
- Exigencias bioclimáticas de la especie en cultivo.
- Tipo de suelo: se deben elegir suelos con buen drenaje y de alta calidad, aunque con los sistemas modernos de fertirriego es posible utilizar suelos pobres con buen drenaje o sustratos artificiales.



- Topografía: son preferibles lugares con pendiente pequeña orientados de norte a sur.
- Vientos: se toman en cuenta la dirección, intensidad y velocidad de los vientos dominantes.
- Mercado destino y demandas.
- Examen total de la zona (temperatura, humedad, condiciones físicas y químicas del suelo, etc.).
- Disponibilidad de mano de obra (factor humano).
- Reseña económica: ventajas económicas por fuentes de financiación. (http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos.htm).

Parámetros a tener en cuenta para la localización de un invernadero

(Sganzerla, 1987; Jaramillo *et al.*, 2007):

Sanidad del terreno

Verificar que el terreno esté en excelentes condiciones e indagar sobre su historial; en el caso de siembras de tomate evitar en lo posible sembrar en terreno donde se hayan cultivado especies como pimentón, berenjena, ají o uchuva, las cuales pertenecen a la familia botánica del tomate (solanáceas), cuyas plagas y enfermedades generalmente son las mismas. Así mismo, evitar terrenos que hayan sido basureros u otras actividades que puedan haber causado contaminación al suelo (Figura 1.13).



Figura 1.13. Terreno adecuado para localización de un invernadero



Fertilidad del terreno

Se debe realizar un análisis del suelo para evaluar tanto su condición física como su composición química y microbiológica, que permita determinar si reúne las condiciones adecuadas para el desarrollo del cultivo.

Drenaje del terreno

Seleccionar el mejor suelo con un buen drenaje y fertilidad. Un alto nivel freático puede limitar considerablemente la producción de tomate, principalmente por el ataque de enfermedades.

Disponibilidad y calidad de agua de riego

Es indispensable que el invernadero esté cerca a fuentes de agua de excelente calidad, libre de contaminantes químicos y microbiológicos; por demás, debe existir un tanque de reserva para emergencias o épocas de sequía. El productor debe prever la cantidad de agua que será necesaria durante el desarrollo del cultivo, así como tener en cuenta los medios para su conducción y distribución.

Cercano a la vivienda del productor y con buenas vías de acceso

Lo mejor para el invernadero es estar ubicado lo más cerca posible a la vivienda del productor para ejercer una supervisión constante del cultivo por cualquier anomalía que se produzca.

Historial de la información climática de la zona

En lo posible, tener información acerca del comportamiento climático de la región, como temperaturas máximas y mínimas tanto diurnas como nocturnas; comportamiento de la humedad relativa en la madrugada y en las horas de la tarde; velocidad y dirección del viento; horas y cantidad de los niveles de radiación; cantidad anual y máximo de mm/hora de las lluvias; e información acerca de la presencia de heladas, granizo y fenómenos naturales.

Alejado de caminos o zonas polvorientas

El invernadero debe estar alejado de carreteras o caminos destapados (por el exceso de partículas de polvo), ya que la acumulación de polvo o residuos contaminantes pueden afectar la calidad del plástico y consecuentemente la luminosidad al interior del invernadero, afectando la calidad del producto y la productividad del cultivo; además, las partículas de polvo pueden causar heridas a las plántulas o bloquear la transpiración al depositarse en las hojas.

Adecuada ventilación

Ubicar el invernadero en zonas donde exista suficiente ventilación para favorecer la remoción del aire húmedo o caliente desde el interior del inver-



nadero y de esta manera evitar la alta o baja humedad relativa que favorece el desarrollo de enfermedades, plagas, desórdenes fisiológicos y problemas de calidad y productividad en la planta. Cuando predominan los vientos demasiado fuertes, también se producen condiciones desfavorables para el desarrollo de las plantas, especialmente condiciones de humedad relativa baja; por lo tanto, será necesaria la ubicación de barreras vivas para disminuir la velocidad del viento.

Luminosidad

Evitar ubicar el invernadero cerca de árboles altos, construcciones o barreras geográficas, como montañas, que impidan la entrada de luz al invernadero.

Pendiente del terreno

Lo ideal es ubicar el invernadero en zonas de topografía plana adecuando el drenaje del terreno, pero si el terreno presenta alguna pendiente, esta no debe superar el 20%.

Orientación

Es importante ubicar el invernadero en sentido norte sur o según los ángulos de radiación para lograr la máxima penetración de la luz y minimizar el sombrío de las plantas a través del día.

Parámetros a tener en cuenta para la construcción de un invernadero

Elección del modelo del invernadero y de sus accesorios apropiados

En la forma y modelo del invernadero lo aconsejable es tener en cuenta las condiciones económicas de cada productor, siempre y cuando la estructura cumpla con los requerimientos apropiados para el desarrollo del cultivo: funcional y de fácil operación, que permita el cultivo de otras especies, lo suficientemente fuerte como para soportar tanto condiciones climáticas extremas como el peso de las plantas y de los sistemas internos, y que tenga una máxima duración y una cobertura fácil de cambiar y de sencillo mantenimiento.

El tipo y el peso de la cubierta

La cubierta debe tener materiales de calidad, durables, que garanticen la mayor resistencia del invernadero, que sean de fácil mantenimiento y económicos.



Luminosidad

Cuando se planea la construcción, es importante favorecer la máxima exposición de la luz hacia las plantas.

La estructura debe estar orientada con su eje longitudinal en dirección norte-sur, de manera que el recorrido del sol sea paralelo a la curvatura del techo o caras del techo (Figura 1.14).

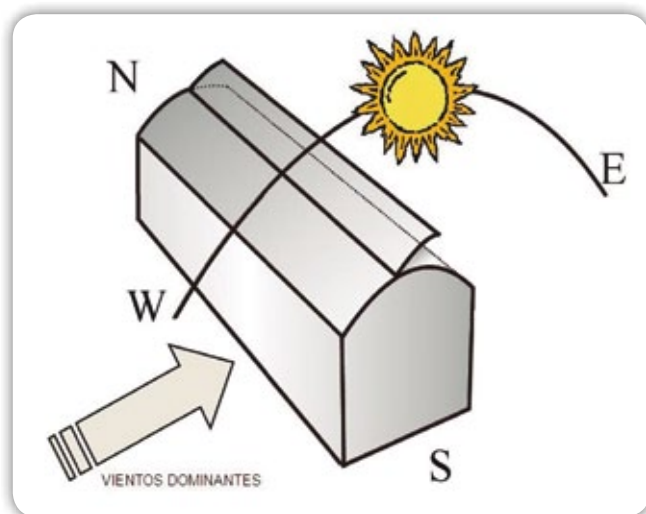


Figura 1.14. Posición ideal del invernadero con respecto al sol y a los vientos dominantes

Lo adecuado es que la estructura esté diseñada con materiales que no obstaculicen el paso de la luz. Una vez colocada la cubierta, esta empieza a acumular gran cantidad de polvo debido a la electricidad estática sobre su superficie, lo que reduce la transmisión de luz dentro del invernadero con un efecto negativo sobre la cantidad y calidad de la producción; por ende, dar una limpieza de mantenimiento al plástico mejora la transmisión de la luz. El plástico debe ser lavado con agua y un cepillo para facilitar la separación mecánica del polvo del plástico como mínimo cada año, y es conveniente no adicionar ningún tipo de detergente que pueda deteriorar dicho plástico.

Dimensión

Naves de máximo 10 a 12 m de ancho, con una longitud máxima de 60 m, facilitan el manejo del cultivo y el control de las condiciones climáticas al interior del invernadero; no obstante, es importante tener en cuenta el clima de la zona donde se va a construir. Las instalaciones deben tener la altura necesaria para mejorar la inercia térmica y la ventilación.



Las alturas promedio para el invernadero son como mínimo de 3,5 m para la fachada debajo de la canal y para el centro del invernadero de 5,5 a 6 m. Es importante ubicar ventanas móviles en la fachada frontal y laterales para el control de la ventilación y la temperatura (Figura 1.15).

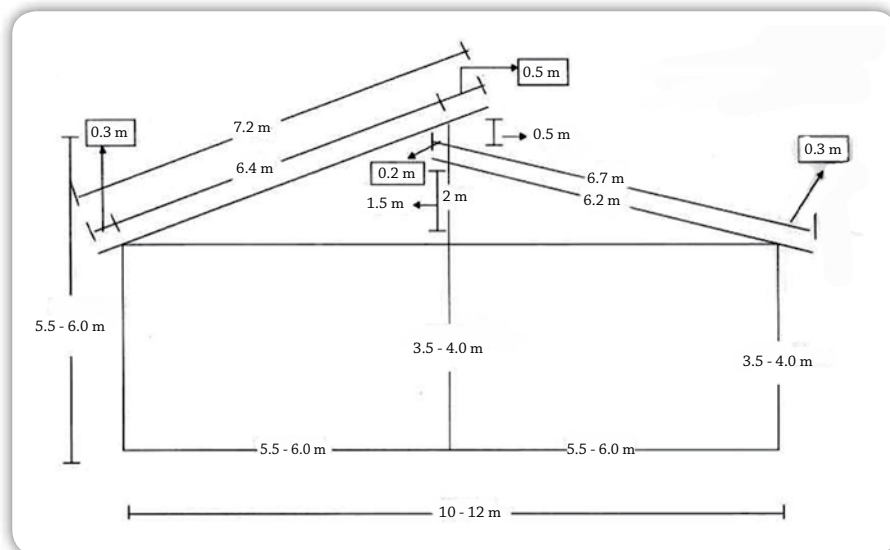


Figura 1.15. Dimensiones de un invernadero tipo capilla

Dirección de los vientos

En la construcción de un invernadero se debe tener en cuenta la dirección e intensidad de los vientos, ya que en algunos casos se podrán utilizar para ventilación natural y en otros será necesario disminuir la intensidad por medio de cortinas rompevientos. Para la construcción del invernadero debe procurarse que los vientos predominantes entren a través de él, procurando que los surcos tengan la misma dirección para que las plantas cuando estén altas no sean una barrera de entrada para los vientos, como lo muestra la Figura 1.16. El invernadero debe frenar lo menos posible la velocidad del viento, con el fin de que su estructura no se desestabilice y el plástico no sufra daños. Sin embargo, cuando los vientos son demasiado fuertes se deben ubicar barreras rompevientos naturales (hileras de árboles) o cortinas artificiales (mallas) que disminuyan la velocidad de los mismos. La apertura cenital debe estar en dirección contraria al viento para evitar daños a la estructura y facilitar la salida del aire caliente.

Orientación

El invernadero se construye generalmente en dirección norte-sur, pues de esta manera se da una mejor captación de luz, aunque otros factores que la determinan son la dirección e intensidad de los vientos y la topografía del terreno.



La orientación de las líneas de cultivo (surcos) también debería estar en dirección norte-sur para mejorar la distribución de la luz en las plantas a lo largo del día, pero si la dirección del viento es contraria y los surcos impiden la circulación del viento con esta disposición, se prefiere cambiar la orientación de los surcos (Figura 1.16) (Jaramillo J. *et al.*, 2007).

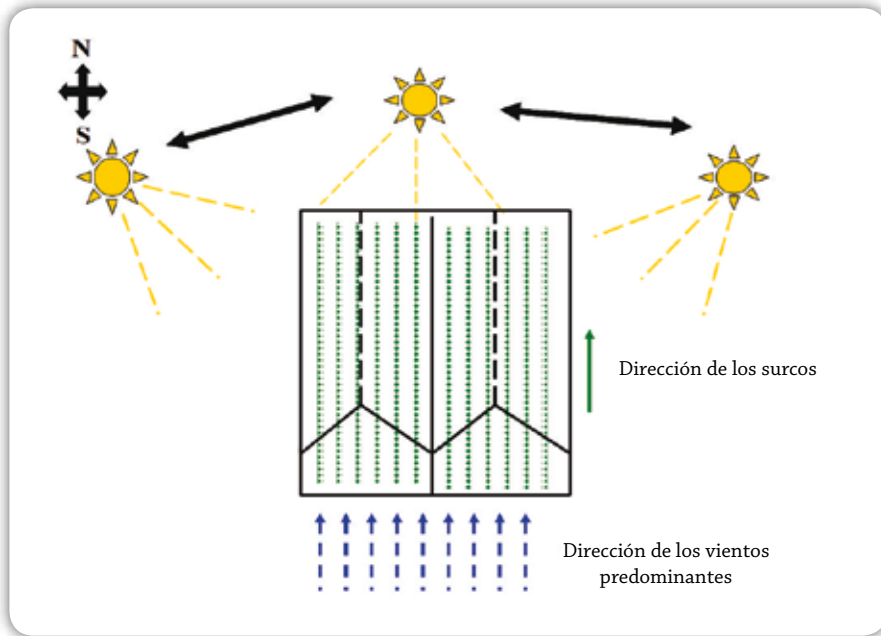


Figura 1.16. Orientación del invernadero

Características de un invernadero

Materiales Empleados en Construcción de Invernaderos

Las estructuras de los invernaderos deben reunir las siguientes condiciones:

- Deben ser ligeras y resistentes.
- De material económico y de fácil conservación.
- Susceptibles de poder ser ampliadas.
- Que ocupen poca superficie.
- Adaptables y modificables a los materiales de cubierta.

Estas estructuras se convierten en uno de los elementos constructivos que mejor se debe estudiar, desde el punto de vista de la solidez y de la economía, a la hora de definirse por un determinado tipo de invernadero. Los materiales más utilizados en la construcción de las mencionadas estructuras son: madera,



guadua, acero, aluminio, alambre galvanizado y hormigón armado. Es difícil encontrar un tipo de estructura que utilice solamente una clase de material, ya que lo común es emplear distintos elementos (Pérez y Cortés, 2007).

Los materiales para la construcción de los invernaderos pueden ser muy variados. Para los marcos de la estructura se puede usar madera, guadua, acero galvanizado, aluminio, PVC o mixtos. Generalmente se usa la guadua, ya que es un material disponible en la mayoría de las regiones, económico, resistente y durable si se le realiza un tratamiento de inmunización (Figura 1.17); el acero galvanizado es algo más costoso pero es resistente, duradero y además permite que la estructura pueda ser trasladada cuando se requiera (Jaramillo *et al.*, 2007).



Figura 1.17. Invernadero construido con guadua

Según Castilla (1997), la variabilidad de materiales empleados en la estructura de los invernaderos nace de la amplia gama de materiales disponibles a nivel local en las distintas áreas geográficas.

La madera es un material ampliamente usado en los invernaderos de plástico. La geometría más apta para la construcción con madera es el invernadero de geometría recta tipo capilla (a dos aguas). La madera debe ser tratada para permitir una longevidad máxima de 15 años. Para la fijación de la lámina plástica sería deseable evitar el empleo de clavos o alambres que la perforen, lo que no siempre es fácil.

El empleo mixto de madera y tubos de acero no es frecuente, empleándose los tubos preferiblemente en la cubierta, sobre todo si es curva. A la par, los elementos estructurales metálicos son más adecuados que los de madera para



el caso de invernaderos de cubierta curva. Debe evitarse el contacto del metal con el film para limitar su envejecimiento prematuro por calentamiento, lo que puede conseguirse pintando o recubriendo los elementos metálicos.

Igualmente, el empleo de alambre como material de estructura no es frecuente, limitándose su empleo al invernadero tipo parral. En algunos casos, se usa más como elemento estructural que como auxiliar (de fijación de la lámina plástica, por ejemplo).

Material de Cobertura

En general, el material que recubre la estructura debe ser transparente para asegurar que las plantas tengan suficiente luz para su crecimiento, de la cual una parte es utilizada en el proceso de fotosíntesis y el resto se convierte en calor, produciendo el famoso efecto invernadero (Figura 1.18). La cantidad y calidad de la luz solar, transmitida por el material que cubre el techo del invernadero, son factores que determinarán finalmente la calidad y el rendimiento del cultivo.

A excepción de las zonas climáticas con inviernos rigurosos en donde el material de cubierta es cristal o plástico rígido, el material más empleado es el plástico flexible.

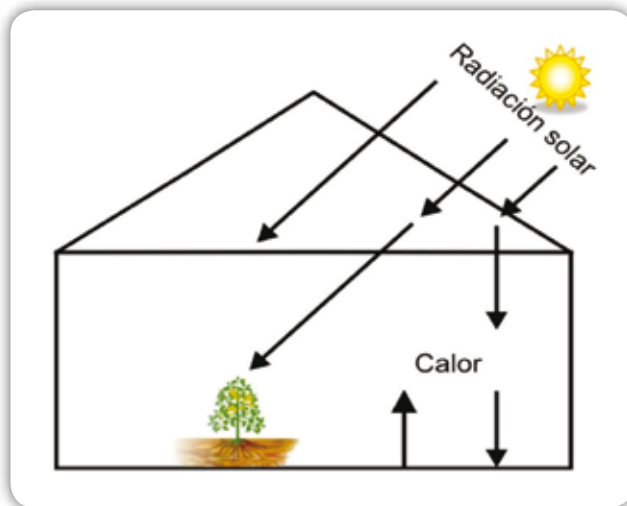


Figura 1.18. Acumulación interior de calor por el efecto invernadero

Cuando una superficie está aislada del exterior por medio de una infraestructura transparente, un nuevo clima se crea en el interior. El nivel de la radiación interna es inferior al nivel de la radiación externa, dependiendo del tipo de



material, de la inclinación del sol y de la nitidez de la superficie transparente (Jaramillo *et al.*, 2007). Los materiales comúnmente utilizados para cubrir los invernaderos son el polietileno, el vidrio y el polipropileno.

Según Castilla (1997), un buen material para el cerramiento de invernaderos debe cumplir las siguientes condiciones:

- Ser de empleo económico, lo que no quiere decir que sea el más barato.
- Tener una duración acorde a sus características.
- Tener la máxima transmisividad a la radiación solar, especialmente en el rango espectral de la radiación fotosintéticamente activa (PAR).
- Tener una reducida transmisividad a la radiación infrarroja larga.
- Tener un coeficiente de conductividad térmico “K” lo más bajo posible, que limite su enfriamiento.
- No retener el polvo y residuos que puedan limitar sus buenas características iniciales de transparencia.
- No generar condensaciones de agua en forma de gota gruesa en su cara interior, que puedan gotear sobre el cultivo; por el contrario, la formación de gotas finísimas (o de capa fina) es deseable porque mejora sus propiedades térmicas y se desliza sin gotear por la cubierta (en caso de una pendiente adecuada).
- Presentar una adecuada resistencia a la abrasión, lo que es importante en áreas donde sean previsibles vientos que transportan arena.

Obviamente no existe un material ideal que reúna todas las características deseables, siendo necesaria una valoración local en cada caso para la elección del idóneo, a veces limitada por la exigencia de una determinada estructura para el material elegido.

En cuanto a la transmisividad, es necesaria la caracterización fotosintética y térmica de los materiales de cubierta de invernadero para una favorable elección, orientada a maximizar la radiación solar dentro del invernadero y a conseguir un adecuado efecto invernadero (si es lo que persigue) y una baja conductividad térmica.

Polietileno: Hoy en día el uso del polietileno es el más extendido debido a características tales como los costos, la versatilidad y el peso (Figura 1.19);



además que puede ser fabricado en diferentes espesores. Usualmente se utilizan plásticos de calibre seis con una vida útil que puede ir de los 18 a los 24 meses (Shany, 2007; Martínez, 2001).



Figura 1.19. Película plástica de polietileno

El polietileno es un plástico flexible, con una buena transparencia, resistencia, peso liviano y costo relativamente bajo, incluso de fácil manipulación y capacidad para soportar diversas condiciones climáticas.

En cuanto a los plásticos utilizados para invernaderos, estos deben tener tres propiedades: mecánicas, térmicas y ópticas.

Las propiedades **mecánicas** se refieren a la resistencia al impacto y la rasgadura, y a la concentración y tipo de bloqueador UV; este último es el más importante entre las propiedades mecánicas de un plástico, ya que provee a la lámina durabilidad, resistencia al envejecimiento por radiación y previene su degradación.

Las propiedades **térmicas** se logran mediante aditivos especiales agregados al polietileno durante su fabricación, que aumentan la capacidad del material para retener el calor (rayos infrarrojos) que trata de escapar del interior del invernadero. El indicador a tener en cuenta en este sentido es llamado **termicidad del polietileno**, y se refiere a la cantidad de calor que el material es capaz de retener para lograr el efecto invernadero, generalmente expresado en porcentaje (%). Por ejemplo, una termicidad del 50% quiere decir que el polieti-



leno retiene el cincuenta por ciento del calor que trata de escapar (Shany, 2007; Jaramillo, 2007).

Dicho calor está representado por los rayos infrarrojos, que son reflejados hacia el interior pero que tratarán de escapar nuevamente hasta hacerlo en su totalidad, es decir, la termicidad lo único que logra es aumentar el tiempo en que escapan los rayos infrarrojos pero no evita que se enfríe el invernadero después de un tiempo determinado. Lógicamente, esto se hace pensando en conservar energía durante las horas de la noche (Shany, 2007).

Los polietilenos llamados térmicos, obtenidos por medio de aditivos a base de silicatos de magnesio o de aluminio y que contienen estabilizantes de UV, dan mayor protección térmica al ser parcialmente opacos a la radiación calorífica o IR larga. En la preparación de estos materiales, la formulación acertada de las proporciones de aditivos es enormemente importante (Martínez, 2001).

Los aditivos térmicos en dosis elevadas reducen la duración de la lámina y la transmisión de la radiación solar, por lo cual no es posible agregarlos en cantidades suficientes para conseguir la opacidad total a los rayos IR largos. Las láminas de copolímero de Etileno Vinil Acetato (EVA) poseen también propiedades térmicas, o sea de menor transparencia a la radiación calorífica, pero conservando su alta transmisión al resto de las longitudes de onda (UV, visible de IR corta) (Martínez, 2001).

Sus inconvenientes, tales como la fijación de polvo y el estiramiento no recuperable, son los causantes de que no se difundan tanto como cabría esperar por sus buenas cualidades de transparencia a la luz y de aislamiento térmico. Del mismo modo que con el polietileno térmico, no se puede conseguir con el EVA una total opacidad de los rayos IR largos, puesto que al aumentar la proporción del acetato de vinilo se reduce la resistencia mecánica de la lámina y se aumenta su elasticidad. La proporción normal del acetato de vinilo en el EVA es del 14%, y el máximo del 18%. Por encima de estas cifras la resistencia mecánica se reduce mucho a causa del descenso del punto de reblandecimiento (Martínez, 2001).

Las propiedades **ópticas** son las que se refieren al paso de la luz a través del material, y tienen una influencia decisiva sobre la producción, calidad del fruto, balance energético en el invernadero y el comportamiento tanto de plagas como de enfermedades.

Estas propiedades se clasifican de acuerdo con la influencia sobre los diferentes campos de radiación (Jaramillo *et al.*, 2007):



Transmisión de luz total (luz visible): se refiere a la cantidad de luz visible que el polietileno deja pasar hacia el interior del invernadero. La luz tiene forma de ondas, las cuales se miden en nanómetros ($1 \text{ nanómetro (nm)} = 1 \times 10^{-9}$ metros). La luz visible tiene tamaños de onda entre 400 y 700 nm aproximadamente; dentro de ella se encuentra la luz fotosintéticamente activa, es decir, la luz que las plantas utilizan en su proceso de fotosíntesis, por eso es importante saber si el polietileno deja pasar una cantidad importante de luz o no, pues esta es requerida para el desarrollo óptimo de las plantas.

La transmisión de luz total se mide en porcentaje (%) y representa la cantidad de luz que traspasa el polietileno; por ejemplo, una transmisividad del 85% significa que el polietileno deja pasar el 85% de la luz que viene del sol y refleja el otro 15%.

Transmisión de luz difusa: este factor es importante en la producción de tomate bajo invernadero, donde hay un alto grado de sombrío entre las plantas. La alta difusión de la radiación ayuda a incrementar la eficiencia fotosintética en las partes en que no llega la luz directa del sol. Esta se mide en porcentaje (%); por ejemplo, una transmisión de luz difusa del 20% significa que de la luz total que traspasa el polietileno el 20% es luz difusa y el otro 80% es luz directa.

La parte del espectro, la cual es beneficiosa e imprescindible para los procesos biológicos vitales, es la luz visible (37% de la energía de la luz solar). La radiación UV (0,65%) y la radiación FR (Rojo lejano) y NIR (Infrarroja) cercana (62,4%), contribuyen principalmente al aumento de calor en invernadero durante el día (Figura 1.20).

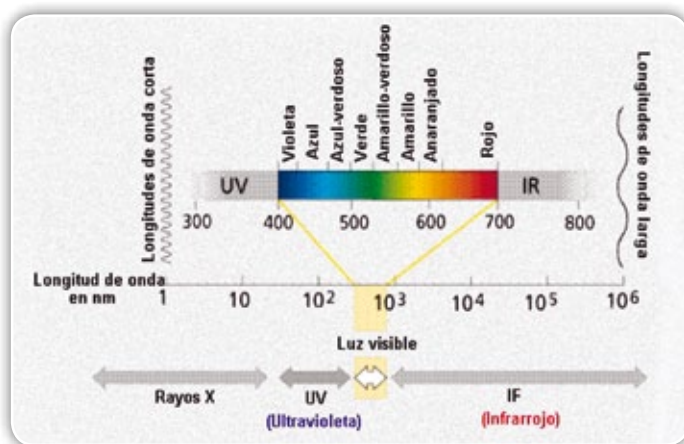


Figura 1.20. Espectro de la luz visible



Es así como se califica una radiación generalmente negativa. Al incidir esta radiación sobre cuerpos oscuros (como por ejemplo, el suelo o las plantas) es absorbida, convirtiéndose en radiación de calor que es reflejada. Este calor se acumula dentro del invernadero. En la mayoría de los lugares del mundo no hay necesidad de incrementar la temperatura durante el día; al contrario, el problema siempre es cómo liberarse de los excesos de calor y de humedad. De aquí se puede concluir que una de las metas del material de cobertura, es filtrar y bloquear la máxima cantidad de radiación dañina y transferir la máxima radiación productiva.

- Para muchos cultivos es muy importante este último dato, el cual indica la cantidad de la luz disponible para el cultivo durante una época, un factor que influye mucho sobre los procesos como la floración, la fructificación, el color, la calidad de los frutos y el rendimiento final del cultivo. En países tropicales es conocido que la cantidad de luz solar efectiva es limitada debido a la alta nubosidad durante muchos días del año, y por eso es importante seleccionar películas de alta calidad para la cobertura de los invernaderos.
- Para saber cuál es la radiación de luz efectiva para el cultivo, hay que medirla dentro del invernadero a 2/3 de la altura de la planta.
- Para saber cuál es la efectividad de transparencia de la cobertura plástica del techo, hay que comparar la radiación interna con la radiación solar fuera del invernadero.

Hoy en día, la tecnología de la plasticultura nos permite no solamente manejar el control climático del invernadero sino también otros aspectos agrotécnicos, como se describirá a continuación.

Aditivos especiales: ciertos aditivos sobre el plástico tienen una influencia positiva sobre las plantas debido a efectos secundarios:

Bloqueador UV: este tipo de plástico tiene la capacidad de bloquear y filtrar la radiación ultravioleta del sol. Existen diferentes grados de bloqueo según la calidad química de la película; o sea, según la concentración y tipo de aditivos bloqueadores de UV en la película. De la misma manera, existen en la industria plástica diferentes tipos de productos que son bloqueadores UV. Antiguamente era común el uso de los metales, como el níquel, los que conferían a la película el típico color verde-amarillo. Hoy en día se los califica como cancerígenos, y por eso no son recomendables para el uso como coberturas de invernaderos.



Los materiales bloqueadores de UV modernos no confieren el color amarillo a la película, sino un color lechoso transparente. En los plásticos convencionales del tipo UV, el grado de la resistencia no es más de 30%.

En general, el plástico UV tiene mejor durabilidad que aquellos que no tienen esta resistencia. Podemos decir que cuanto mayor es el grado de resistencia, mayor será la durabilidad de la película. Esto se explica de la siguiente manera: la radiación UV del sol quiebra las conexiones de las moléculas lagar C=C del polietileno y causa la cristalización del plástico. La consecuencia es que la película pierde su calidad elástica. Se puede determinar que cuando la película pierde 50% de su capacidad elástica hay que cambiarla, pues terminó su vida útil.

Los plásticos UV de buena calidad tienen una vida útil en el campo de dos a tres años, dependiendo de la intensidad de la radiación solar, la temperatura y los productos químicos que se usan en el invernadero; además, son aptos para usar en cualquier región y condición climática. Son recomendables para la mayoría de los cultivos (Shany, 2007).

Anti-vector: estos plásticos tienen la capacidad de filtrar toda la radiación UV. La última innovación es que a través de esta propiedad se interviene en el comportamiento de los insectos (plagas) anulando su capacidad visual y reduciendo así su incidencia en el invernadero.

En una serie de investigaciones realizadas en los últimos años en varios institutos en Israel, se descubrió que los insectos ven y se orientan en el espacio usando, de cierta manera, la radiación ultravioleta. Este comportamiento fue aprovechado por la industria plástica en beneficio del manejo integrado de plagas. En invernaderos donde la cobertura es de tipo 'Anti-vector', los insectos plagas evitan acercarse, y si entran al invernadero, su actividad es prácticamente nula. En muchos ensayos llevados a cabo en Israel se demostró que con esta herramienta –la cual puede ser incorporada en la estrategia del MIP– bajo estos plásticos la incidencia de plagas trasmisoras de virus tipo mosca blanca, áfidos y trips, disminuye casi totalmente.

Los 'Anti-vector' controlan también ciertas enfermedades fúngicas tipo *Botrytis*. Según los ensayos realizados en Israel, en cultivos de hierbas aromáticas (albahaca, menta) se puede demostrar que estos hongos son incapaces de producir esporas cuando se elimina la radiación ultravioleta.

Igualmente, en cultivos de rosas rosadas estos plásticos tipo 'Anti-vector' contribuyen a bajar el síntoma de "flor negra" (Shany, 2007).



IR: son películas que contienen el aditivo bloqueador de la radiación infrarroja y que reflejan la radiación de onda larga emitida durante la noche por el suelo y las plantas, manteniendo así el calor del invernadero.

Las películas son muy aptas para usar en zonas frías, donde se requiere aumentar la temperatura durante la noche. A pesar de requerir medios adicionales en zonas muy frías (como por ejemplo, calentadores), estos plásticos son importantes, pues permiten el ahorro de energía y bajan el costo de la calefacción. Un punto interesante a tener en cuenta es que los plásticos IR tienen la capacidad de elevar la temperatura dentro del invernadero en alrededor de 3 °C en la noche, pero no juegan un papel importante en la elevación de temperatura dentro del invernadero durante el día. La diferencia en temperatura durante el día, comparado con un plástico regular, es de máximo 0,5 °C.

Hay que recalcar que estos plásticos de tipo IR no son aptos para usar en zonas cálidas, donde no se necesita calefacción en la noche (Shany, 2007).

Difuso: estas películas provocan una difusión del 60% de la radiación solar transmitida. Presenta ventajas principalmente en cultivos tutorados. En el caso de los plásticos regulares (los cuales influyen poco sobre la radiación directa), una gran parte de la luz solar es bloqueada por los ápices de las plantas, mientras que las partes más bajas de las plantas, que aún están en producción, se mantienen en sombras y sufren de deficiencia de luz fotosintética. Cuando la radiación es difusa, los rayos solares logran penetrar hasta las partes más bajas de las plantas obteniéndose una mayor producción. En plásticos regulares, solamente el 30% de la radiación transmitida es difusa (Shany, 2007).

Anti-fog o Anti-goteo: son películas de polietileno que en su capa interna contienen el aditivo 'Anti-drip', el cual reduce la tensión superficial de la gota, previniendo la condensación en forma de gota sobre el plástico y consecuentemente el goteo sobre las plantas, reduciendo la incidencia de enfermedades al desarrollarse condiciones de humedad. La transmisión de luz es más eficiente cuando no hay condensación sobre la película plástica.

Sobre películas con esta propiedad, las gotas de agua que se condensan durante la noche reciben una forma achatada –en vez de redonda– evitando el goteo sobre el cultivo. Las gotas de agua resbalan hacia los laterales de la nave y de allí drenan fuera del invernadero. En invernaderos que no tienen plásticos anti-goteo, el goteo de agua es un gran provocador de enfermedades del follaje. Con el uso de estos plásticos se pueden prevenir muchas de estas enfermedades.



Otra ventaja del anti-goteo es su mayor transparencia, favoreciendo, por lo tanto, una mejor penetración de luz. En un plástico regular, las gotas de agua que se condensan sobre la película, principalmente en las horas de la mañana, reducen en gran parte la radiación solar que llega a las plantas (Shany, 2007).

Anti-dust o antipolvo: este aditivo previene la acumulación de polvo sobre la parte superior de la película de plástico de tal manera que la penetración de la luz dentro del invernadero no es reducida, evitando el lavado del plástico para limpiar el polvo acumulado sobre la cubierta.

Es una película que en su capa superior tiene baja carga eléctrica y, consecuentemente, no atrae el polvo. El polvo por ser una arcilla también lleva una carga eléctrica, y tiene la tendencia de acumularse sobre los techos de plástico reduciendo la penetración de la luz solar. En ciertas áreas, este polvo produce hasta un 50% de sombra. Indudablemente, esta sombra afecta en forma negativa al cultivo en el invernadero (Shany, 2007).

Combinación de propiedades: hoy en día, dada la alta tecnología aplicada a la fabricación de láminas de polietileno, es posible exigir a la industria un plástico que posea todas las propiedades arriba mencionadas en una sola película. Todo depende, por supuesto, de las necesidades del cultivo. Esta tecnología, llamada ‘extrusión en capas’, utiliza una maquinaria moderna que inyecta los diferentes productos, siendo el producto final de una sola película. Cada capa contiene un diferente agregado. Cuando se coloca la película encima del invernadero, esta cumplirá con un determinado objetivo (Shany, 2007).

En la Figura 1.21 se demuestra un ‘corte’ esquemático de una película compuesta de polietileno.

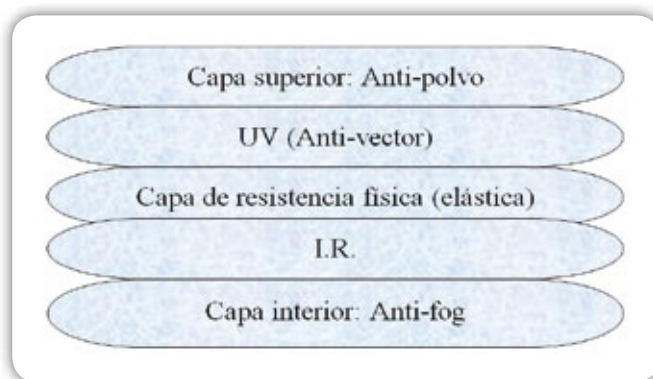


Figura 1.21. Diferentes capas de aditivos en una cubierta plástica (Shany, 2007)



Determinación de la calidad del plástico: existen ciertos criterios para determinar la calidad de una película:

- El espesor. Para cobertura de invernaderos el espesor mínimo debe ser de 120 - 150 micrones (0,12 - 0,15mm). Cuanto mayor es su espesor, mayor su resistencia y duración. Sin embargo, si la película es de una buena calidad no es necesario utilizar un espesor mayor a los 150 micrones.
- La resistencia física (mecánica) se mide en laboratorios. Existen estándares internacionales que definen dicha propiedad. Según el estándar americano/israelí es 250 gr/0,15 mm (la resistencia depende del espesor del plástico). La película debe ser a la vez elástica y resistente al corte, y su elasticidad se mide a través de su capacidad de responder a la tensión. Una película nueva tiene que poder extenderse de 5 a 7 veces de su largo original.
- La calidad óptica determina el nivel de transferencia (T) de la película. En una película de buena calidad, la cantidad de la radiación visible transmitida debe ser de por lo menos 85% de la radiación total que llegue a la película.

$$T = I / I_0$$

T = 85%
I = Radiación transmitida
I₀ = Radiación total

- La resistencia fotoquímica establece la resistencia de la película a la descomposición por la radiación ultravioleta. Esta propiedad depende de la concentración del grado UV en la película y de su pureza. Es así como la resistencia fotoquímica determina la vida útil de la película y su calidad agrotécnica. Por otro lado, la concentración del producto UV se mide en laboratorios mediante análisis químicos y fotométricos; a su vez, la resistencia UV de la película depende también de su espesor y de su pureza. En el proceso de la producción de la película, esta puede contaminarse con diferentes materiales o con burbujas de aire. Es allí, en esos puntos “sucios”, donde comienza la oxidación y la descomposición de la película, estimulada por la energía de la radiación UV (Shany, 2007).

Mantenimiento del plástico: con el objetivo de alargar la vida útil del plástico (ya colocado encima del invernadero) y aprovechar mejor sus cualidades aerotécnicas, hay que seguir ciertas reglas y principios de mantenimiento:



1. Colocación correcta de la película. La película debe ser colocada del lado correcto. La parte del 'anti-polvo' (si es que hay) debe colocarse hacia arriba (fuera), y el 'anti-goteo' hacia abajo (adentro).
2. Ajuste de la película. Si se esperan vientos fuertes, debe ajustarse el plástico con cintas gruesas de lona colocadas por encima del mismo en forma diagonal.
3. Blanqueado (pintura agrícola especial). Deben pintarse de blanco todas las barras metálicas de la estructura que tienen contacto con el plástico, ya que con el calor del sol estas se calientan y funden el polietileno. Además, deben revestirse los extremos de las barras y tablas con alguna tela o con trozos de plástico para evitar el rasgado de la película.
4. Lavado de los techos. Los techos deben lavarse como mínimo cada seis meses, a fin de extraer el polvo acumulado (la capa de polvo reduce la penetración de la luz y el potencial productivo del cultivo). Usando plásticos regulares y en zonas polvorientas, el lavado debe realizarse una vez al mes, usando plástico anti-polvo cada tres meses.
5. Uso de productos para fumigación a base de azufre. Estos productos afectan negativamente al polietileno y causan su rápida destrucción. Las películas del tipo UV son más resistentes.
6. Reemplazo de la película. Cada tipo de polietileno tiene una determinada vida útil, la cual depende de su calidad, espesor, condiciones climáticas regionales y manejo agrotécnico en el invernadero. El uso frecuente de productos químicos volátiles, especialmente aquellos a base de azufre, causan una rápida destrucción del polietileno. Después de uno o dos años, la película empieza a perder sus características, su transparencia disminuye, su estabilidad UV se reduce y así también sus otras cualidades. En tal caso, la película ya no sirve desde el punto de vista agrotécnico, el cultivo empieza a sufrir y es el momento adecuado para reemplazarla. Generalmente, se determina este momento cuando la transparencia de la película se reduce en un 30% de su capacidad inicial; por ejemplo, si la capacidad inicial de transparencia de la película nueva es de 80% de la radiación solar, cuando la transparencia baja a 50% hay que cambiar la película (Shany, 2007).

Características estructurales

En primer lugar, la estructura del invernadero debe estar diseñada de manera tal que aproveche al máximo la entrada de luz y favorezca la ventilación al in-



terior, al tiempo que resiste el embate de los vientos fuertes. Seguidamente, es necesaria la instalación de cortinas enrollables sobre cada pared para posibilitar la ventilación. Las cortinas laterales deben ser divididas en dos o más secciones para facilitar su manejo (Figura 1.22).



Figura 1.22. Ventanas para ventilación

Por otra parte, se recomienda tener doble entrada para el conveniente movimiento del producto. Cada invernadero debe tener una puerta o estructura para cerrar la entrada, evitando en la noche el ingreso de aire frío que desplace el aire caliente al interior del invernadero (Figura 1.23).



Figura 1.23. Doble entrada al invernadero



En invernaderos que no tengan problemas de ventilación se pueden instalar vigas horizontales para la ubicación de mallas que permitan sellar completamente la estructura, impidiendo así la entrada de insectos (Figura 1.24).



Figura 1.24. Malla anti-insectos

Ahora bien, el invernadero debería estar preparado para la instalación de equipos para el control del clima, como ventiladores para calentamiento y circulación del aire, equipos para aplicación de plaguicidas, pantallas térmicas y otros.

Es importante colocar vigas o postes perpendiculares a los surcos del cultivo para la instalación del sistema de tutorado. El alambre debe ir de poste a poste a lo largo del cultivo, y los postes deben de ir en cada extremo del invernadero y no estar soportados en la estructura del mismo. Finalmente, el alambre del tutorado que va paralelo a los surcos del cultivo debe ser de acero blando galvanizado y tener un diámetro de 3 a 3,5 mm.

Características de un invernadero para cultivar tomate

Según Zeidan (2005), un invernadero para cultivar tomate debe tener las siguientes particularidades:

1. Un invernadero para cultivar tomate debe estar diseñado para soportar una carga vertical de 35 kg/m^2 .
2. Lo ideal es que el invernadero sea diseñado y autorizado por un ingeniero.



3. Es conveniente utilizar materiales de construcción durables y resistentes.
4. La dirección de los invernaderos debe ser de norte a sur para lograr la máxima penetración de la luz y minimizar el sombrero en las plantas a través del día.
5. Si el invernadero no tiene aberturas en el techo, la longitud estaría limitada de 36 a 40 metros para favorecer la aireación.
6. La altura del tutorado requerida para producir tomate es como mínimo de 2,50 m.
7. Es adecuado que la distancia entre invernaderos sea de al menos 6 m.
8. Un invernadero, aparte de soportar velocidad de viento hasta 150 km/h, debería tener una vida útil de mínimo 10 años.
9. Es recomendable instalar tensores alrededor del invernadero para reforzar su resistencia a vientos fuertes.
10. Los invernaderos deben ser construidos con una pendiente de 0,5% a 1,0% tanto lineal como lateral para el eficiente drenaje de las lluvias.
11. Es fundamental tener una entrada accesible para la circulación del equipo y conveniente remoción y transporte de fruto.

Claves para obtener éxito en un cultivo bajo invernadero

- Iniciar el cultivo con plántulas de excelente calidad.
- Maximizar la fotosíntesis de las plantas brindando las condiciones ideales de luminosidad, temperatura y humedad.
- Asegurar la calidad y tamaño del fruto mediante una adecuada fertilización y poda.
- Facilitar el consumo de agua.
- Mantener el microclima de las hojas.
- Realizar periódicamente análisis físicoquímicos del suelo y análisis químico del agua de riego.
- Eliminar restos de vegetales del cultivo anterior y malas hierbas.
- Usar variedades adaptadas a las condiciones agroecológicas de la región.



- Utilizar densidades de siembra adecuadas para conseguir una buena ventilación e iluminación de las plantas.
- Eliminar plantas enfermas o partes de ellas.
- Realizar podas oportunas.
- Fertilización equilibrada de acuerdo con las necesidades del cultivo.
- Efectuar rotación de cultivos.
- Limpiar y desinfectar las herramientas de trabajo.
- Limpiar y desinfectar el invernadero, si es posible, antes de iniciar un nuevo ciclo.
- Usar ventilación adecuada para evitar el exceso de humedad.
- Evitar el goteo de agua de condensación de los techos.
- Practicar un adecuado mantenimiento al invernadero.
- Aplicar un principio de manejo integrado de plagas y enfermedades, combinando métodos culturales, físicos, biológicos y químicos.
- Controlar los costos de producción.

(Jaramillo *et al.*, 2007)

Cómo alcanzar las metas

- Analizando las condiciones y necesidades de la zona.
- Con una debida planeación agronómica.
- Llevando registros de todas las labores de producción.
- Haciendo planeación de las operaciones.
- Especificando cómo se hace cada trabajo.
- Entrenando todo el personal.
- Estando preparados con procedimientos de emergencias.

(Jaramillo *et al.*, 2007)



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa Dos Reis, N. V. (2000). *VI Curso Internacional de Produção de Hortaliças*. Brasília – DF: Embrapa. 27 p.
- Castilla, N. (1997). *Bioproductividad de las Hortalizas en Cultivo Protegido*. Extracto de la conferencia presentada en el 'Foro Internacional de Cultivo Protegido'. Botocató-Sao Paulo-Brasil. 9 p.
- Jaramillo, Jorge. (2007). Agricultura Protegida, una Alternativa para la Horticultura. En: Frutas y Hortalizas. *Revista de la Asociación Hortofrutícola de Colombia, Asohofrucol*, (5): nov-dic 2007: 38-41.
- Jaramillo, Jorge; Rodríguez, Viviana; Guzmán, Miryam; Zapata, Miguel y Rengifo, Teresita. (2007). *Manual técnico BPA en la producción de tomate bajo condiciones protegidas*. Colombia: Corpoica, FAO-MANA. Primera edición. 314 p.
- López G. J.; Salinas A, J.A. (2000). *Climatización Invernaderos. Efectos Ambientales y Tecnología en el Sistema de Cultivo Forzado*. P. 67-85.
- Makishima, Nozomu y Alves C., Osmar. (1998). *Cultivo protegido do tomateiro. Circular Técnica da Embrapa Hortaliças*. Brasília, DF. 18 p.
- Martínez, P. F. (2001). *Materiales plásticos para cubierta de invernadero*. Curso de formación de formadores en horticultura protegida y semiprotegida. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Agencia Española de Cooperación Internacional. 15 p.
- Pérez R., Hernando y De Paul C., Cortés. (2007). *Simulación y control de la temperatura dentro de un invernadero*. Bogotá: Trabajo de Grado Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería y Automatización Electrónica. 86 p.
- Sganzerla, E. (1987). *Nova Agricultura: A fascinante arte de cultivar com os plásticos*. Brasil: Porto Alegre. Petroquímica Triunfo. 297 p.
- Shany, M. (2007). *Tecnología de producción bajo cobertura*. Israel: Edición Ing. Agr. Evelyn Rosenthal. 69 p.
- URL http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos.htm
- Wittwer S., H. y Castilla, Nicolás. (1995). *Protected Cultivation of Horticultural Crops Worldwide*.
- Zeidan, O. (2005). *Tomato production under protected conditions*. Israel: Mas-hav, Cinadco, Ministry of Agriculture and Rural Development Extension Service. 99 p.

