
Estructuras utilizadas en la agricultura protegida

Dr. Porfirio Juárez López¹, Dr. Rubén Bugarín Montoya¹, Dr. Rogelio Castro Brindis²,
M.C. Ana Luisa Sánchez-Monteón¹, Dra. Elia Cruz-Crespo¹,
¹Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete,¹ Dr. Gelacio Alejo Santiago,
Dr. Rosendo Balois Morales¹

¹Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit,

²Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo

Introducción

Actualmente la agricultura, además de la producción a campo abierto, se practica en una amplia variedad de ambientes modificados, entre los que destacan los invernaderos con o sin control ambiental con cultivos en sistemas hidropónicos, sustratos inertes o en suelo, mismos que representan un ejemplo de ecosistemas artificiales para desarrollar la agricultura intensiva.

En México existen muchas regiones con condiciones naturales idóneas para el establecimiento de invernaderos, debido a ello la agricultura protegida se ha desarrollado en forma acelerada, ya que permite obtener productos de calidad tanto para mercado nacional como de exportación. De esta forma, el empleo de invernaderos y la agricultura protegida están contribuyendo ampliamente en la producción de alimentos y en el desarrollo de varias zonas agrícolas de México.

En años recientes, los cultivos hortícolas han presentando tendencia hacia la obtención de producción anticipada o fuera de estación, en condiciones diferentes a aquellas en las que tradicionalmente se cultivaban a campo abierto. Esta tendencia ha creado la necesidad de usar diversos elementos, herramientas, materiales y estructuras en la protección de cultivos con la finalidad de obtener productos de mejor calidad. A esta actividad se le conoce como agricultura protegida (también llamada horticultura protegida) y en gran medida ha sido propiciada por el desarrollo de materiales plásticos agrícolas. Las estructuras más utilizadas de la agricultura protegida son los invernaderos, malla sombra, túneles altos y bajos; en este orden de ideas, el objetivo de este artículo es describir las principales estructuras empleadas en la agricultura protegida.

Agricultura protegida

La agricultura protegida se realiza bajo estructuras construidas con la finalidad de evitar las restricciones que el medio impone al desarrollo de las plantas. Así, mediante el empleo de diversas cubiertas se reducen las condiciones restrictivas del clima sobre los vegetales. A través de los años pero sobre todo en las últimas décadas se han desarrollado varios tipos de estructuras para la protección de las plantas que plantean diferentes alternativas generar condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de cultivos, de acuerdo a los requerimientos climáticos de cada especie y en concordancia con los factores climáticos de cada región.

En México, la horticultura protegida está en amplio crecimiento y desarrollo. En el año de 1980 se reportaron 300 hectáreas (ha) con este sistema de producción y en 2008 alrededor de 10 000 ha. Este sistema de producción ha presentado un elevado crecimiento en los últimos años (entre 20 y 25% anual), lo que ha generado contradicciones en el número de hectáreas (ha) actualmente establecidas. La Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en 2010 reportó 11 760 ha mientras que para el mismo año la Asociación Mexicana de Agricultura Protegida, Asociación Civil (AMHPAC) en el mismo año censó 15 300 ha. En general, los invernaderos constituyen 44 % y la malla sombra 51% de la superficie total. Los Estados que concentran el mayor número de hectáreas de cultivo en invernadero son: Sinaloa (22%), Baja California (14%), Baja California Sur (12%) y Jalisco (10%); en estas cuatro entidades se encuentra más del 50% de la producción total de cultivos protegidos.

Las principales especies cultivadas en este sistema de producción son: hortalizas como tomate rojo o jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.), pepino (*Cucumis sativus* L.), melón (*Cucumis melo* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.); plantas ornamentales y flores de corte tales como rosas (*Rosa hybrida* L.), gerbera (*Gerbera* spp.) y crisantemo (*Chrysanthemum* spp). Adicionalmente, en agricultura protegida también se producen plántulas de hortalizas para trasplante a campo abierto, así como plantas medicinales y aromáticas.

Estructuras empleadas en agricultura protegida

Invernaderos

Un invernadero es una construcción agrícola con una cubierta traslúcida que tiene por objetivo reproducir o simular condiciones climáticas adecuadas para el crecimiento y desarrollo de plantas de cultivo establecidas en su interior, con cierta independencia del medio exterior. De las estructuras empleadas para proteger cultivos, los invernaderos permiten modificar y controlar de forma más eficiente los principales factores ambientales que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales.

Los invernaderos son estructuras construidas con diversos materiales, cuya altura es mayor de dos metros en la parte útil, con anchos mayores de seis metros y largos variables. Uniendo varias naves o módulos se obtienen grandes dimensiones de superficies cubiertas, conocidas como invernaderos en batería. Por su tamaño, permiten que todas las labores y prácticas que requieren los cultivos se realicen en el interior de las instalaciones.

De acuerdo a la Norma Mexicana para el diseño de estructuras para invernaderos (NMX-E-255-CNCP-2008), los aspectos relevantes a considerar en las estructuras son los materiales utilizados. Estos deben ser económicos, ligeros, resistentes y esbeltos, que formen estructuras poco voluminosas a fin de evitar sombras sobre las plantas, ser de fácil mantenimiento y conservación, modificables y adaptables. Por tanto, debe procurarse que en la adquisición de estos materiales se cumplan las especificaciones de fabricación mencionadas en las normas, para cumplir con las especificaciones mínimas de un buen diseño, resistencia mecánica, estabilidad y durabilidad, incluyendo las cimentaciones.

La finalidad de los invernaderos es proteger cultivos de los factores y elementos adversos a su desarrollo; como son altas y bajas temperaturas, granizadas, vientos, lluvias torrenciales, cantidad y calidad de energía luminosa. Estos factores y elementos pueden ser modificados y controlados eficientemente mediante el diseño, equipamiento y manejo apropiado de cada invernadero, considerando las condiciones climáticas locales y los requerimientos de cada especie agrícola a cultivar dentro de ellos.

En relación al nivel de tecnificación de invernaderos en México, la mayoría de éstos se consideran de baja y media tecnología, en función de lo siguiente:

1) Tecnología baja: es 100% dependiente del ambiente, al hacer uso de tecnologías simples similares a las utilizadas en cultivo a intemperie.

2) Tecnología media: corresponde a estructuras modulares o en batería que están semi-climatizadas, con riegos programados, y pueden ser en suelo o hidroponía. Por lo general la productividad y calidad es mayor que en el nivel anterior.

3) Tecnología alta: en este nivel se incluyen instalaciones que cuentan con control climático automatizado (mayor independencia del clima externo), riegos, computarizados y de precisión, inyecciones de CO₂, para ello cuentan con sensores y dispositivos que operan los sistemas de riego y ventilación, pantallas térmicas para el control de la iluminación y cultivo en sustratos.

Los invernaderos modernos son acondicionados con mecanismos y equipos necesarios para controlar temperatura, luminosidad, humedad ambiental y del sustrato, ventilación, aireación, aporte de CO₂, riegos y fertilización. Con esto se ha logrado aumentar los rendimientos agrícolas a niveles superiores a los alcanzados en campo abierto mediante cualquiera de los sistemas de producción tradicional de la agricultura mecanizada.

Aunque generalmente las cubiertas de los invernaderos son de plástico con diferentes propiedades como tales como plásticos térmicos, antigoteo, fotoselectivos y biodegradables, paredes con mallas o de policarbonato y elementos de sombreado aluminizadas, también existen in-

vernaderos de vidrio, lo que les confiere mayor hermeticidad. El volumen de aire que se alberga entre la planta y el techo es superior a los invernaderos multitúneles (túneles en batería), lo que aumenta su inercia térmica y la estabilidad climática. La interceptación de luz es superior a los invernaderos de plástico y están dotados de varios sistemas de regulación climática que se manejan con un controlador de clima y riego. Su costo es muy alto, por lo que su uso en climas no extremos está más restringido, aunque son los invernaderos que poseen los mayores rendimientos potenciales por metro cuadrado.

En la figura 1 se muestran las principales estructuras empleadas en la agricultura protegida.



Invernaderos con cubierta plástica en Jala, Nayarit (foto: Diana García Ríos).



Invernaderos con cubierta plástica y malla sombra en la parte superior en Culiacán, Sinaloa (foto: Dr. Porfirio Juárez López).



Casa sombra con producción de plantas ornamentales en Compostela, Nayarit (foto: SEDER Nayarit).



Casa sombra con producción de árboles frutales (durazno) en Ahuacatlán, Nayarit (foto: SEDER Nayarit).



Macro túnel con producción de fresas. Imagen tomada del sitio: <http://www.inia.cl/link.cgi/Noticias/8726>

Mediante el empleo de mallas se puede reducir entre 10 a 95% del total de la radiación solar. La cantidad de luz que se deja pasar al interior depende de la especie que se tenga en cultivo. Con las mallas no se evita el paso del agua de lluvia, además son permeables al viento. Generalmente las estructuras sobre las que se colocan las mallas sombra son metálicas pero también pueden ser construidas con madera.

Las mallas de color negro son las más utilizadas y en menor medida las de color rojo y azul. Los materiales más comunes para la fabricación de mallas sombras son el polietileno y polipropileno, también se empieza a utilizar el poliéster. La duración de las mallas de polietileno, con un buen manejo, puede ser de cuatro años mientras que las de polipropileno pueden durar hasta diez años, ambos materiales son de color negro.

El objetivo del empleo de una malla sombra no sólo es reducir la cantidad de luz, también tiene como finalidad evitar el exceso de temperatura. Si se considera que el calor es producido por la radiación infrarrojo cercano del espectro electromagnético o energía radiante del sol, una malla sombra ideal debería ser un filtro selectivo que detuviera esa radiación sin afectar la parte visible o útil para la fotosíntesis.

Las mallas sombras también se usan en los invernaderos para disminuir la luminosidad colocadas por encima



Micro túnel para producción de plántulas de hortalizas en Ahuacatlán, Nayarit (foto: SEDER Nayarit).

de la cubierta de plástico con el propósito de proporcionar sombra y disminuir la cantidad de energía luminosa que penetra al interior, en este caso se requiere de una estructura de 30 a 40 cm encima del plástico. Cuando se coloca debajo de la cubierta de plástico, disminuye la luminosidad pero aumenta la temperatura, ya que la energía retenida se transforma en calor que la malla irradia al interior del invernadero.

Macro túnel o túnel alto

Son estructuras que no tienen las características apropiadas en ancho y altura al canal para ser consideradas invernaderos pero ya permiten que las labores se realicen en el interior. Tienen de 4 a 5 m de ancho y 2 a 3 m de altura en la parte más elevada, con longitudes variables que para facilitar su manejo se recomienda no sean mayores a 60 m, aunque en México existen algunos de hasta 100 m de largo.

Este tipo de estructuras son ideales para semilleros o almácigos de especies hortícolas y ornamentales, como abrigo en la propagación vegetativa de especies de interés comercial y para la producción de hortalizas y plantas ornamentales. Tienen como ventaja su fácil construcción y como principal desventaja, con respecto a los invernaderos es que retienen menos calor en la noche, debido a su poco volumen. Otra desventaja es su elevada temperatura durante el día por carecer de ventilación natural.

Otra ventaja respecto a los micro túneles (mini invernaderos), es que mantienen más alta la temperatura nocturna ya que el volumen de aire calentado durante el día es mayor. Por lo general, en la construcción de estos tipos de estructuras se emplean perfiles tubulares, redondos, cuadrados o rectangulares y se cubren con polietileno o mallas sombra. Son estructuras recomendables para aficionados y personas que se inician en el manejo de cultivos bajo cubierta. Los macro túneles pueden ser estructuras unitarias o en batería. Una variante de su uso es unir invernaderos tipo túnel para formar baterías, facilitando el manejo y las labores.

Micro túnel, túnel bajo o mini invernadero

Son estructuras pequeñas construidas con arcos sobre los que se colocan cubiertas de plástico. Por sus reducidas dimensiones no es posible que las personas trabajen en su interior por lo que las labores se realizan desde el exterior de las mismas. En México, se le conoce como micro túneles ya que es la forma que más frecuentemente adoptan; sin embargo, algunos son de forma triangular.

La función de los túneles es minimizar los efectos perjudiciales de las bajas temperaturas, sin recurrir a estructuras costosas. En algunos cultivos su empleo se limita a la primera parte del ciclo, por ejemplo en la producción de plántula y en algunos sistemas de producción de hortalizas donde en la primera fase se emplean mini invernaderos con acolchado y riego por goteo. Se les emplea para proteger los cultivos y acortar el ciclo productivo al lograrse mayor precocidad.

Los factores principales que determinan el mayor o menor rendimiento térmico del túnel, y por lo tanto, sus resultados económicos, se relacionan con los materiales de cobertura, la forma y dimensiones de la estructura, el sistema de ventilación, la orientación, la hermeticidad, la naturaleza de la estructura de sostenimiento, el sombreado y la conectividad térmica. Las dimensiones óptimas dependen de la especie a cultivar, garantizando que la altura del túnel permita un desarrollo normal, por ejemplo para fresa, rábano, lechuga y zanahoria requieren de 30 a 40 cm mientras que para jitomate de crecimiento determinado, pimiento y berenjena necesitan de 80 a 90 cm de altura. En cuanto al ancho del mini invernadero debe procurarse

que las plantas queden al menos a 20 cm separadas de las paredes laterales.

Los mini invernaderos se emplean para establecer almácigos de hortalizas, en la propagación vegetativa de especies ornamentales, para proteger cultivos comerciales cuya disposición sea en hileras o surcos con hábitos de crecimiento de porte bajo tales como chile, calabaza y en la producción de nopal verdura.

Los materiales más empleados para la construcción de los mini invernaderos son varillas, alambazón, alambre y madera. En la cubierta se emplean plástico, malla sombra, cubiertas térmicas o cubiertas de tela no tejida como el agríbon®. Las estructuras pueden ser de forma semicircular triangular, elíptica o triangular. Por lo general, son de menos de 1.5 m de altura y de 90 a 150 cm de anchura, con longitudes variables de hasta 100 m.

Diferencia entre invernadero y túneles

No existe una línea divisoria bien definida entre un invernadero tipo túnel y un macro túnel, sin embargo, se ha optado por considerar como elemento de referencia el volumen de aire encerrado por metro cuadrado de piso cubierto. Este criterio define la capacidad global de la instalación para mantener uno de los parámetros fundamentales en su manejo, la temperatura, así cuando mayor sea el volumen de aire encerrado bajo la cubierta, mayor será la cantidad de calor acumulada durante el día, por unidad de superficie, misma que disminuirá paulatinamente durante la noche, de esta forma una estructura con un volumen mayor tiene más inercia térmica, lo cual representa una ventaja en cuanto a gastos de instalación.

Algunas consideraciones para diferenciar túneles bajos y altos, así como invernaderos:

a) Túnel bajo. Estructura con una relación volumen/superficie (v/s) de 1/1 a 1.7/1, es decir, de 1 m³ por m² a 1.7 m³ por m². Son simples estructuras dentro de las cuales apenas se pueden realizar alguna labor mínima de cultivo.

b) Túnel alto. Estructura con relación v/s de 1.8/1 a 3/1, en las que se puede trabajar en su interior, cuentan con posibilidades de ventilación controlada y pueden disponer del algún dispositivo de calefacción.

c) Invernaderos. Estructuras con relación v/s superiores a 3/1.

Uno de los elementos distintivos del invernadero respecto a la demás estructuras de protección es la facilidad del desplazamiento de los trabajadores para realizar las labores dentro del invernadero, así como los medios mecánicos y la disponibilidad de manejo y control del ambiente interno, condiciones que precisan de determinadas dimensiones en cuanto a altura, anchura, y por lo tanto del volumen por unidad cubierta.

Conclusiones

Actualmente la superficie de agricultura protegida en México es de alrededor de 15,000 ha y en los últimos años

ha presentado un crecimiento anual entre 20 y 25%. Los invernaderos constituyen 44% y las mallas sombra 51% de la superficie total y el resto corresponde a macro y micro túneles. En dependencia de las condiciones ambientales y la capacidad de inversión de los productores, los invernaderos pueden acondicionarse con sistemas de calefacción, extractores de aire y sistemas automatizados para riego y aplicación de fertilizantes. Además de los aspectos ambientales de una región agrícola, el tipo de especie que se desea cultivar constituye un factor importante para decidir el empleo de invernaderos, malla sombra, macro túnel o micro túneles.

Bibliografía

- Bastida-Tapia A, J.A. Ramírez-Arias. 2008. *Los Invernaderos en México*. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo. 123 pag..
- Castellanos, J. 2007. *Perspectivas de la agricultura protegida en México*. In: Segunda Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Guadalajara, México. [consultado 2011 abril 23]. Disponible en: http://www.rniaf.org.mx/2007/memorialponencias/protegida/p4_perspectivas1.pdf
- Moreno-Pérez, E. C. 2007. Agricultura protegida para la producción de hortalizas. Segunda Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Guadalajara, México. [consultado 2011 mayo 26]. Disponible en: http://www.rniaf.org.mx/2007/memorialponencias/protegida/p3_produccion.pdf
- Norma Mexicana para el Diseño y construcción de Invernaderos NMX-E-255-CNCP-2008. Diario Oficial de la Federación.
- Perea, E. 2011. *Alto crecimiento de agricultura protegida; hay desorden y abandono regional*. [consultado 2011 mayo 25] Disponible en: http://imagenagropecuaria.com/articulos.php?id_art=1170&id_ejemplar=1&id_sec=26.
- Sánchez del Castillo, F. 2007. *Proyecto Educativo de la Licenciatura Ingeniero Agrónomo en Horticultura Protegida*. Chapingo, México. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, 86 pag.
- Secretaría de Ganadería Agricultura Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2009. *Programa de Ejecución Directa de Agricultura Protegida*. Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación. [consultado 2011 mayo 5]. Disponible en: <http://www.amhpac.org/contenido/plan%20nacional%20de%20agricultura%20protegida%202009.pdf>

Datos de los autores:

Dr. Porfirio Juárez López
Profesor Investigador
Universidad Autónoma de Nayarit
Unidad Académica de Agricultura
Xalisco, Nayarit, México
porfiriojlopez@yahoo.com

Dr. Rubén Bugarín Montoya
Profesor Investigador
Universidad Autónoma de Nayarit
Unidad Académica de Agricultura
Xalisco, Nayarit, México
drbugarin@hotmail.com

Dr. Rogelio Castro Brindis
Profesor investigador
Universidad Autónoma Chapingo
Departamento de Fitotecnia
Chapingo, Estado de México, México.
rcbrindis@hotmail.com

M.C. Ana Luisa Sánchez Monteón
Profesora Investigadora
Universidad Autónoma de Nayarit
Unidad Académica de Agricultura
Xalisco, Nayarit, México
analuisasm8@yahoo.com.mx

Dra. Elia Cruz Crespo
Profesora Investigadora
Universidad Autónoma de Nayarit
Unidad Académica de Agricultura
Xalisco, Nayarit, México
ccruz2006@yahoo.com.mx

Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete
Profesora Investigadora
Universidad Autónoma de Nayarit
Unidad Académica de Agricultura
Xalisco, Nayarit, México
cecirjr_uan@hotmail.com

Dr. Gelacio Alejo Santiago
Profesor Investigador
Universidad Autónoma de Nayarit
Unidad Académica de Agricultura
Xalisco, Nayarit, México
gelacioalejo@hotmail.com

Dr. Rosendo Balois Morales
Profesor Investigador
Universidad Autónoma de Nayarit
Unidad Académica de Agricultura
Xalisco, Nayarit, México
balois_uanayar@hotmail.com