ATTRA
Agricultura Sustentable
NCAT



# Producción orgánica de hortalizas en invernadero

Por Lane Greer y Steve Diver, especialistas en agricultura del NCAT
Publicado originalmente en 2000
Actualizado en agosto de 2026 por Tammy Howard y Chris Lent, especialistas en Agricultura del NCAT

©NCAT

SP078

La producción orgánica de hortalizas en invernadero requiere una inversión inicial considerable, pero puede generar precios más altos si el productor logra identificar un canal de comercialización con poca competencia. La clave para una producción rentable de hortalizas en invernadero es mantener bajos los costos anuales. Los costos más elevados de la producción en invernadero son la energía y la mano de obra. Esta publicación incluye información sobre el ahorro de energía, la fertilidad orgánica y el manejo de plagas, así como recursos para determinar los costos e ingresos del cultivo de hortalizas orgánicas en invernadero. Esta información, y los recursos sobre estos temas, permitirán a los productores tomar decisiones sobre la viabilidad de este negocio.

## ÍNDICE

2 Introducción
2 Una visión general de la industria de las hortalizas de invernadero
3 Evaluación del mercado
4 Consideraciones sobre el consumo energético en los invernaderos
13 Certificación orgánica
14 Fertilidad y manejo del suelo
20 Control de malezas
22 Control de plagas
24 Sistemas de invernaderos
27 Aspectos económicos de la producción en invernadero
30 Avances en la industria de los invernaderos
30 Conclusión
31 Referencias
32 Recursos adicionales

Esta publicación es producida por el Centro Nacional de Tecnología Apropiada a través del programa de Agricultura Sostenible ATTRA, bajo un acuerdo de cooperación con Desarrollo Rural del USDA.



Foto: NCAT

# Introducción

Esta publicación ofrece una visión general de los sistemas de producción en invernaderos y presenta perfiles de agricultores que cultivan hortalizas orgánicas en invernaderos. Esta guía brindará a los nuevos productores ideas sobre cómo establecer sus sistemas y proporcionará a los agricultores con más experiencia ejemplos de métodos alternativos de producción, así como los requisitos de certificación orgánica específicos para los invernaderos.

**RECURSOS RELACIONADOS DE ATTRA**

**Manejo de nutrientes en cultivos orgánicos de granos pequeños**

**Manejo de enfermedades e insectos en cultivos orgánicos de granos pequeños**

**Manejo de malezas en cultivos orgánicos de granos pequeños**

**Episodio 296: Explorando el resurgimiento del centeno con Gary Zimmer**

**Episodio 347: Cultivos de granos a pequeña escala en el sur con Iriel Edwards**

Otra publicación de ATTRA, *Técnicas para extender la temporada para horticultores comerciales*, contiene más información sobre estructuras de protección, como semilleros, túneles altos o invernaderos de arcos y túneles bajos.

## Una visión general de la industria de las hortalizas de invernadero

Segun el Censo Agricola del Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA), en 2017, en America del Norte, habia casi 15,000 acres de cultivos alimenticios cultivados bajo proteccion, lo que incluye tuneles de plastico y la produccion en invernaderos. De este total, 2,990 acres se encontraban en Estados Unidos, 3,608 acres en Canadá y 9,084 acres en México (Burfield, 2019). México ha sido el mayor proveedor del mercado norteamericano, con aproximadamente el 60% de la superficie de producción. Notablemente la superficie de agricultura protegida mexicana ha aumentado exponencialmente en los últimos cinco años, hasta alcanzar las 57,000 acres en 2019 (Burfield, 2019). Este aumento del cultivo protegido vino acompañado de una reducción correspondiente en los cultivos al aire libre en México. Los Estados Unidos recibe el 96 % de la producción de hortalizas de invernadero de México, y el resto se destina a Canadá, según afirma Alfredo Díaz Belmontes, director general de la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida (Belmontes, 2016).

Según la Encuesta sobre Productos Orgánicos de 2019 del Servicio de Investigación Económica (ERS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la superficie dedicada a la producción orgánica de hortalizas y hongos en invernadero era de 715 acres. (USDA ERS, 2019). El tomate es

**Nota:** Esta publicación aborda un poco de información sobre la producción hidropónica orgánica. Tras la decisión tomada en 2022 por la Junta Nacional de Normas Orgánicas (National Organic Standards Board) de permitir que las operaciones hidropónicas obtengan la certificación orgánica, la tecnología y la información al respecto aún son bastante nuevas y están en constante evolución. Seguiremos de cerca este tema y lo actualizaremos. Sabemos y reconocemos que el debate sobre la certificación de la hidroponía sigue siendo bastante polémico, pero consideramos que es importante incluir toda la información sobre invernaderos que sea certificable según las normas del Programa Orgánico Nacional.

el principal cultivo orgánico de hortalizas en invernadero, con 152 acres en producción, seguido por los pepinos europeos, las hierbas aromáticas, la lechuga, los pimientos y las fresas. Los principales estados en la producción orgánica de tomates en invernadero son California, Pensilvania y Colorado, respectivamente. En los Estados Unidos se cultivan más de 700 tipos de hortalizas orgánicas en invernaderos, entre ellas se incluyen: tomates, hongos, hierbas y otras hortalizas (USDA ERS, 2019). Los principales estados en la producción de hortalizas orgánicas en invernadero, excepto los tomates, son California y Pensilvania (USDA ERS, 2019). Los centros de producción en invernadero se encuentran en California, Arizona y Colorado. Estas ubicaciones ofrecen competencia en el mercado, pero también proporcionan una fuente de asistencia técnica, suministros para invernaderos y asesoría.

## Evaluación del mercado

Con tanta competencia de Canadá y México, es importante evaluar tus mercados para encontrar un nicho que sea rentable. Los productores a pequeña escala que planean vender directamente deben evaluar cuidadosamente los mercados de su región que tal vez ya esté saturada de productos cultivados hidropónicamente o en invernaderos de túnel. Los productos orgánicos y cultivados localmente constituyen un nicho, pero será importante diferenciar tus hortalizas de la gran variedad de productos locales, orgánicos y cultivados en túneles de plástico que se venden a través de canales de comercialización directa, como los mercados de agricultores y la agricultura apoyada por la comunidad. Otros nichos de mercado para la producción en invernadero incluyen: los productos tradicionales, las hierbas frescas que no pueden enviarse a nivel nacional, los productos orgánicos y muchos mas.

### *Invernaderos de arco vs. invernaderos tradicionales: ¿Cuál es la diferencia?*

El término *invernadero* tiene diferentes significados para diferentes personas. Dado que los túneles de plástico (también conocidos como túneles altos) y las técnicas de extensión de temporada complican aún más la definición, es importante distinguir entre los túneles de plástico y los invernaderos. Un invernadero se utiliza típicamente para la producción durante todo el año con sistemas complementarios de calefacción y refrigeración. Es una estructura permanente y la mayoría de las autoridades de zonificación exigirán una inspección como tal. Los invernaderos de arco, por otro lado, se consideran estructuras no permanentes y se utilizan de una a tres temporadas, dependiendo del clima. Las estructuras de los invernaderos pueden construirse con múltiples tipos de materiales, como policarbonato de doble pared, vidrio (que ya casi no se usa) y plástico de doble capa. Los invernaderos de arco no se consideran estructuras permanentes, aunque por lo general cuentan con cimientos de concreto. Los invernaderos de arco minimizan el tiempo de instalación, a menudo sacrificando la durabilidad y la resistencia general de un invernadero estándar a cambio de los beneficios inmediatos de un diseño más sencillo. Por lo general, cuentan con una sola capa de plástico polietileno, laterales enrollables para la enfriamiento y la circulación de aire, y a menudo carecen de electricidad o controles ambientales. Los invernaderos suelen tener un costo de construcción más elevado, en parte porque su temperatura se mantiene mediante sistemas de calefacción y refrigeración. Debido al alto costo de construcción y mantenimiento de ambos sistemas, tanto los invernaderos como los túneles de plástico son más adecuados para cultivos de alto valor, como tomates, chiles y pepinos, así como para hierbas aromáticas y plantas de jardín.

Greenhouse and Hophouse Grower's Handbook, un nuevo libro escrito por el editor de *Growing for Market,* profundiza en los temas tratados en esta publicación. Consulta la sección "Recursos adicionales" para obtener más información.

**La producción durante todo el año es clave para mantener un invernadero rentable. Sin embargo, esto no significa necesariamente que los productores deban cultivar el mismo producto durante todo el año.**

Un buen ejemplo lo encontramos en la industria de las verduras para ensalada. Hace veinte años, era casi imposible encontrar lechugas mixtas. La escasez de oferta provocó precios extremadamente altos; no era raro pagar hasta 16 dólares por libra. La demanda motivó a que más pequeños productores comenzaran a cultivar verduras para ensalada, pero no fue hasta que los grandes productores ingresaron al mercado que el precio por libra bajó significativamente (a entre 6 y 10 dólares por libra). Muchos productores aún pueden obtener entre 4 y 6 dólares por libra por las verduras de hoja, pero los grandes productores de California y México han hecho que el precio se mantenga bajo.

Los canales de comercialización con intermediarios pueden ser una buena opción para los productores de invernadero de menor escala o para los quien están iniciando esta practica agricola. Los mercados intermedios ayudan a mantener la identidad de tu granja, permiten estrategias de producción a mayor escala y son más simples en comparación con los mercados directos. Algunos ejemplos de mercados intermedios son las tiendas de abarrotes independientes, los restaurantes, los centros de distribución de alimentos o los agregadores, y las instituciones. Para obtener más información sobre cómo identificar y enfocarte en los mercados intermedios, consulta el tutorial de ATTRA sobre mercados intermedios.

La producción durante todo el año es clave para mantener un invernadero rentable. Sin embargo, esto no significa necesariamente que los productores deban cultivar el mismo producto durante todo el año (los tomates de invierno generan más ingresos que los de verano). Otra opción sería cultivar algo distinto a las hortalizas, como plantas de jardín y plántulas para la venta a principios de primavera, o poinsettias para Navidad.

Otro aspecto a tener en cuenta para obtener una rentabilidad en el cultivo de hortalizas en invernadero es mantener bajos los costos. La mano de obra y la energía suelen ser los dos gastos más importantes en un invernadero. Si logras encontrar una forma de reducir los costos de uno de ellos o de ambos, aumentarás tus posibilidades de obtener ganancias.

## Consideraciones sobre el consumo energético en los invernaderos

Por lo general, los costos combinados de servicios públicos y combustible constituyen el tercer gasto más importante para los productores de hortícolas en los Estados Unidos (USDA NASS, 2019). Dado que la calefacción y la refrigeración de los invernaderos representan una gran parte del consumo de servicios públicos y combustible, es importante comprender los diferentes tipos de sistemas de calefacción y refrigeración de invernaderos y cómo funcionan. En esta sección, analizaremos cómo se calientan y refrigeran la mayoría de los invernaderos convencionales, así como los combustibles que se utilizan para estos fines. En esta sección solo abordaremos los sistemas típicos o tradicionales de producción de cultivos en invernaderos, sin incluir los sistemas de producción hidropónica ni los de cultivo vertical en invernaderos. También analizaremos cómo reducir estos consumos de energía mediante medidas de conservación comprobadas que pueden incorporarse al diseño de nuevos invernaderos o, en la mayoría de los casos, adaptarse a los invernaderos existentes. Por último, abordaremos algunos de los sistemas alternativos de calefacción y refrigeración, así como los combustibles que los productores están utilizando para reducir el uso de combustibles fósiles.

### *Sistemas de calefacción*

El tipo más común de equipo de calefacción que se utiliza en los invernaderos comerciales son las unidades de aire caliente forzado. Se trata de calefactores que impulsan aire a través de un intercambiador de calor calentado por llama y lo dirigen al interior del invernadero. A menudo se eligen porque son relativamente económicas, se

pueden adaptar fácilmente al tamaño del espacio y son sencillas de instalar. Si la operación se expande, se pueden instalar más unidades para calentar el espacio adicional. El calor que generan también se puede canalizar fácilmente para calentar el espacio debajo de las mesas en el caso de la producción sobre mesa.

Existen cinco tipos de unidades de aire caliente de combustión directa: con ventilación por gravedad, con ventilación mecánica, de combustión separada, de condensación de alta eficiencia y sin ventilación. Las unidades de condensación de alta eficiencia son más costosas, pero ofrecen una eficiencia superior al 10% a la de otros tipos de unidades (Sanford, 2011a). El término *eficiencia* se refiere aquí a la cantidad de calor que se produce por unidad de combustible utilizado. Las unidades a gas pueden alcanzar una eficiencia superior al 90%, mientras que las unidades a petróleo tienen una eficiencia máxima del 85%. Los calentadores sin ventilación utilizan todo el calor que produce la unidad para calentar el invernadero, pero también emiten humedad y dióxido de carbono ($CO_2$) al interior del invernadero. Las plantas pueden aprovechar parte del $CO_2$, pero las concentraciones excesivas resultan perjudiciales para el cultivo y la salud humana; en consecuencia, queda desaconsejado el uso de calentadores sin ventilación en los invernaderos.

Los sistemas de calefacción hidrónica se utilizan con menos frecuencia. Estos sistemas se basan en hervidoras que calientan agua para la calefacción radiante que pueden ser instaladas en las mesas y en el suelo para calefacción de la zona radicular. Algunos sistemas también utilizan agua caliente para la calefacción radiante del espacio aéreo del invernadero. Independientemente del tipo de sistema de calefacción que se utilice, invertir en unidades de calefacción de alta eficiencia (con un índice de eficiencia térmica del 90% o más) puede generar un retorno de la inversión en menos de cuatro años.

La calefacción por infrarrojos es común en la producción en invernaderos donde las plantas tienen una altura uniforme. Los sistemas de infrarrojos generan radiación infrarroja que se transmite a las plantas y a otros objetos dentro del invernadero para calentarlos al instante. Solo se calienta lo que es necesario —las plantas— y no el resto del aire del invernadero. Por esta razón, estos sistemas pueden ser eficientes desde el punto de vista energético y económico. Por lo general, para esta aplicación se utilizan unidades de infrarrojos de baja intensidad que funcionan con electricidad o gas.

**El precio de los combustibles tradicionales a base de carbono es volátil, y los productores están cada vez más preocupados por las prácticas agrícolas y su impacto en un clima cambiante. Por estas razones, algunos productores de invernaderos han optado por una de las alternativas: los combustibles de biomasa.**

### *Combustibles para calefacción*

Los combustibles más comunes que se utilizan en los equipos de calefacción para invernaderos son el gas natural, el gas propano líquido (GLP) y el fueloil n.º2. Los sistemas de calefacción que queman estos combustibles varían mucho, y la eficiencia de un sistema de calefacción para invernaderos puede depender no solo del equipo de calefacción, sino también del tipo de combustible que se utilice. Por esa razón, y dado que los combustibles se miden y venden en diferentes unidades de medida, las comparaciones de costos de los combustibles para calefacción de invernaderos suelen basarse en lo que cuesta producir 1 millón de unidades térmicas británicas (BTU) de calor. La BTU es la medida estándar de calor en los Estados Unidos.

El precio de los combustibles tradicionales a base de carbono es volátil, y los productores están cada vez más preocupados por las prácticas agrícolas y su impacto en un clima cambiante. Por estas razones, algunos productores de invernaderos han optado por una de las alternativas: los combustibles de biomasa. Los combustibles de biomasa son combustibles sólidos derivados de materiales biológicos. Algunos ejemplos comunes son la leña, los pellets de madera y las astillas de madera. Los combustibles de biomasa se consideran una fuente de combustible renovable, pero los críticos señalan que se queman con menor eficiencia que el gas, el carbón y el petróleo. Es cierto que los combustibles de biomasa emiten más $CO_2$ por BTU en comparación con los combustibles fósiles, pero eso se compensa

con el hecho de que el $CO_2$ fue capturado y almacenado en la biomasa mientras crecía. Los combustibles de biomasa que se utilizan a pequeña escala y se obtienen de manera responsable a partir de residuos de madera y materiales de desecho están mucho más cerca de ser neutros en carbono que los combustibles basados en carbono secuestrado (USEIA, 2021). Los equipos de calefacción que queman combustibles de biomasa suelen costar más que los sistemas que queman petróleo y gas, pero si se cuenta con una fuente de combustible de biomasa y su costo por BTU es comparable al de los combustibles fósiles, puede valer la pena el gasto de instalar un sistema de calefacción para invernaderos que usa combustibles de biomasa.

El USDA cuenta con una herramienta de software gratuita en línea llamada Virtual Grower que se puede utilizar para simular las necesidades energéticas de un invernadero. Un productor puede ingresar los detalles de los sistemas de calefacción e iluminación, así como los detalles del diseño del invernadero, para simular las necesidades energéticas de la estructura. Se pueden comparar diferentes sistemas de calefacción para ayudar a tomar decisiones sobre mejoras. Consulte la sección *Recursos adicionales* para obtener enlaces a esta herramienta y a una herramienta de autoevaluación energética para invernaderos.



**El tapete similar al papel de este enfriador evaporativo para invernaderos absorbe y evapora agua a lo largo de una de las paredes laterales del invernadero.**
**Foto: Chris Lent, NCAT**

### *Sistemas de enfriamiento*

Tradicionalmente, se han utilizado ventiladores para bajar la temperatura en los invernaderos. Si se utilizan ventiladores para la ventilación, elegir modelos energéticamente eficientes reducirá los costos operativos. El índice de eficiencia de los ventiladores agrícolas se determina dividiendo el flujo de aire en pies cúbicos por minuto (cfm) entre la potencia nominal del ventilador, lo cual se expresa como cfm/w. Cuanto mayor sea el valor de esta relación, más eficiente será el ventilador. El Laboratorio de Sistemas Bioambientales y Estructurales (BESS) de la Universidad de Illinois realiza pruebas en los ventiladores agrícolas, y los resultados están disponibles en línea (consulte la sección Recursos adicionales). Estas pruebas y los informes correspondientes ayudan a los productores a elegir ventiladores de mayor eficiencia. Los ventiladores de flujo de aire horizontal (HAF), colocados por todo el interior del invernadero, enfrían mediante convección, pero también son muy útiles para reducir los costos de calefacción al distribuir el aire cuando se utiliza calefacción.

Los sistemas de ventilación natural (que se tratan en la sección *Medidas de conservación* más adelante) se están convirtiendo cada vez más en el método preferido de ventilación en los nuevos invernaderos debido al ahorro de costos que ofrecen en comparación con la ventilación con ventiladores. Al utilizar laterales enrollables motorizados y aberturas de ventilación en el techo en lugar de ventiladores, se puede lograr un ahorro de más de $300 al año en un invernadero típico de 30 pies por 100 pies (Bartok, 2022). Si se utiliza la ventilación natural para enfriar el invernadero, se recomienda no encender los sistemas de ventilación asistida (HAF), ya que pueden obstaculizar el flujo natural de aire.

En algunas regiones del país, cuando las temperaturas de verano son tan altas que la ventilación y el sombreado no logran

**Ante la volatilidad de los precios de los combustibles y las preocupaciones por las emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático, algunos agricultores se están enfocando en el ahorro de energía y en métodos alternativos de calefacción y refrigeración para sus invernaderos.**

proporcionar un enfriamiento adecuado, se utilizan sistemas de enfriamiento por evaporación para refrescar los invernaderos. Por lo general, se emplea un sistema de paneles o tapetes (hechos de un material similar al papel) empapados en agua y ventiladores. Los tapetes son instalados en la pared del extremo más cercano al viento predominante durante el verano. Los ventiladores de la pared opuesta extraen el aire húmedo de los tapetes, y este aire absorbe calor a medida que recorre el interior del invernadero y sale por los extractores. Los sistemas de enfriamiento por evaporación funcionan mejor cuando se combinan con un sistema de ventilación bien diseñado que reduzca la ganancia de calor proveniente del sol (Extensión de la Universidad de Georgia, 2014). Además del sistema de tapetes y ventiladores descrito anteriormente, a veces también se utilizan sistemas de nebulización de alta presión.

Ante la volatilidad de los precios de los combustibles y las preocupaciones por las emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático, algunos agricultores se están enfocando en el ahorro de energía y en métodos alternativos de calefacción y refrigeración para sus invernaderos. En primer lugar, analizaremos las medidas de ahorro que se pueden aplicar para reducir las necesidades energéticas en la producción en invernadero. A continuación, hablaremos tanto de los sistemas solares pasivos y activos para invernaderos como de los sistemas de calefacción geotérmica.

## *Metodos de ahorro de energía en invernaderos*

Dado que la energía es uno de los principales costos asociados con los productos de invernadero, es importante considerar aprovechar la radiación solar y otras medidas de ahorro energético para reducir los gastos en combustible. La calefacción de los invernaderos puede consumir el 75 % del consumo energético anual, por lo que la implementación de medidas de ahorro relacionadas con la calefacción suelen ofrecer un retorno de la inversión en tan solo unos pocos años. Entre ellas se incluyen reducir la infiltración de aire, instalar cortinas energéticas, aislar las paredes laterales y el perímetro de los cimientos, aprovechar bien el espacio de cultivo e instalar controles ambientales electrónicos (Bartok, 2015).

Actualmente, es estándar que los invernaderos comerciales utilicen una doble capa de película de polietileno con un espacio de aire entre ambas capas que se mantiene mediante un pequeño soplador eléctrico. Esto proporciona una capa de aire aislante que reduce la pérdida de calor. Otras formas básicas de ahorrar energía son el uso de cubiertas de sombra y cortinas térmicas aislantes. La instalación de cubiertas de sombra sobre el invernadero reduce el calor y puede disminuir las cargas de enfriamiento al reducir el tiempo de funcionamiento de los sistemas de enfriamiento por evaporación y ventilacion. Durante los meses de calefacción, hasta el 80 % de la energía necesaria para mantener el calor en el invernadero se consume durante la noche, por lo que las cortinas térmicas son eficaces para reducir los costos de energía (Sanford, 2011b). Las cortinas suelen instalarse en el interior del acristalamiento, pero en lugares donde la nieve no es un problema, pueden instalarse en el exterior. Las cortinas se cierran por la noche para reducir la pérdida de calor y se vuelven a abrir por la mañana para aprovechar el sol. Ciertos tipos de cortinas térmicas tambien pueden funcionar como material de sombra en climas cálidos. La elección del acristalamiento o del recubrimiento plástico es muy importante. El plástico infrarrojo (IR) y anticondensación (AC) permite ahorrar entre un 10% y 20% en el consumo de combustible al atrapar la radiación infrarroja e impedir que se escape durante la noche (Bartok, 2022).

El diseño de los invernaderos puede reducir los costos de energía al ayudar a regular las altas temperaturas. Los invernaderos con techo abierto expulsan el aire caliente por la parte superior de la estructura, mientras que el aire más fresco entra por las aberturas de las paredes laterales. La mayoría de los días, cuando la velocidad del viento es de al menos una milla por hora, la ventilación natural puede mantener la temperatura del aire

dentro de la estructura a unos pocos grados de la temperatura exterior (Bartok, 2015). Además, si el enfriamiento es la consideración principal, se deben tomar en cuenta los vientos predominantes para determinar la orientación del invernadero.

Ubicar un nuevo invernadero en una zona protegida del viento o instalar cortavientos alrededor de un invernadero ya existente para reducir la velocidad del viento predominante también puede mejorar la eficiencia de la calefacción. La limpieza y el mantenimiento rutinario de los equipos de calefacción, así como la verificación de la precisión de los termostatos, también son medidas esenciales. Los termostatos electrónicos son más precisos que los mecánicos y deben utilizarse para controlar los sistemas de calefacción y refrigeración. También se deben utilizar controles electrónicos para los sistemas de riego, humedad e iluminación.

Dividir y calentar solo una parte del invernadero para la siembra inicial o construir una cámara de germinación para retrasar la calefacción estacional de toda la estructura son técnicas de manejo sencillas que pueden ahorrar combustible.



El material de cambio de fase que se muestra aquí, instalado en la pared trasera de un invernadero solar, es al menos cinco veces más eficiente para capturar y liberar calor que materiales tradicionales de masa térmica. Foto: Chris Lent, NCAT

Dependiendo del estado actual del invernadero, cualquiera de estas medidas de conservación, o una combinación de ellas, podría tener un impacto en los costos de combustible y generar un retorno de inversión favorable. Para obtener más información sobre la conservación de energía, puedes encontrar una lista de verificación para la conservación de energía en invernaderos en la sección Recursos adicionales.

### *Energía solar pasiva*

Los invernaderos solares pasivos capturan y almacenan el calor solar para liberarlo de forma pasiva, con el fin de evitar que las temperaturas internas bajen demasiado por la noche o en días nublados, con un consumo de energía mínimo o nulo. En el interior de la estructura se utilizan materiales de masa térmica, como el agua, el cemento o la propia tierra, para absorber el calor adicional del invernadero en los días soleados. Estos materiales luego liberan ese calor almacenado cuando se pone el sol. De manera muy similar, se utilizan materiales de cambio de fase (PCM) para almacenar calor durante el día y liberarlo cuando las temperaturas bajan por la noche. Los PCM utilizados en los invernaderos, que por lo general están hechos de cera de parafina, aprovechan la energía latente al absorber calor cuando el material pasa de estado sólido a líquido, y luego liberan ese calor cuando el material vuelve a su estado sólido. Los materiales PCM son más eficientes que los materiales de masa térmica que se han utilizado tradicionalmente en los invernaderos solares pasivos, como el agua o la masonería. Los materiales PCM almacenan de cinco a 14 veces más calor usando el mismo volumen de material (Sutterlin, 2011).

La eficacia de un invernadero solar pasivo depende de una estructura hermética que cuente con un buen aislamiento en las paredes orientadas al norte, al este y al oeste. Por la noche, también se puede agregar aislamiento (como una manta térmica retráctil) al acristalamiento orientado al sur. La estructura debe

orientarse lo más cerca posible del sur verdadero, con el acristalamiento colocado en un ángulo igual a los grados de latitud del lugar más 15 grados adicionales. Ese ángulo permite que el sol bajo del invierno caiga sobre el acristalamiento en el ángulo óptimo para la ganancia de calor dentro de la estructura. Los invernaderos solares también suelen construirse con una proporción de uno de ancho por dos de largo por uno de alto, para optimizar la relación entre el espacio de siembra y el perímetro. Por ejemplo, una estructura de 12 pies de ancho se construiría con 24 pies de largo y 12 pies de alto. Todas estas características de diseño dan como resultado un invernadero capaz de mantener temperaturas mínimas por encima del punto de congelación, incluso en las regiones del norte del país (Thomas et al., 2003).

China sigue siendo líder en la producción de invernaderos solares pasivos, con más de 9.1 millones de acres en producción a finales de 2017 (Liu et al., 2021). El diseño de los invernaderos solares chinos incorpora todas las características de diseño solar pasivo mencionadas anteriormente, pero se distingue por el hecho de que las vigas de soporte metálicas están construidas para ofrecer mayor resistencia, lo que les permite extenderse desde la pared trasera de masa térmica hasta el borde delantero del invernadero (Bomford, 2010). Esto aumenta aún más la relación entre el área de cultivable y el perímetro. Estos sistemas dependen de mantas aislantes que cubren el acristalamiento durante la noche para retener el calor. Mientras que existan ventas en línea de este tipo de invernadero al momento de redactar este artículo, los autores no pudieron encontrar ningún distribuidor de invernaderos de este estilo en América del Norte.



**Este invernadero solar pasivo, ubicado en Gib's Farm, en Pensilvania, cuenta con una pared de masa térmica, acristalamientos orientados al sur con un ángulo pronunciado y una chimenea solar que facilita la circulación del aire y la refrigeración en épocas de calor. Foto: Chris Lent, NCAT**

### *Energía solar activa*

Los sistemas de calefacción solar activa utilizan bombas o ventiladores para hacer líquido o aire a través de un colector solar con el fin de absorber el calor del sol. Este calor se almacena para su uso posterior. Un tipo de sistema solar activo con el que los agricultores han estado experimentando durante años son los sistemas de agua caliente solar, y otra tecnologia que se está empezando a incorporar en los invernaderos para ayudar con la calefacción son las baterías climáticas.

### *Calentamiento solar de agua*

Existen varios diseños diferentes para calentar agua con energía solar con el fin de calentar un invernadero. La mayoría utiliza paneles solares térmicos que calientan una mezcla de agua y glicol, la cual circula a través de un intercambiador de calor para almacenar el calor en un gran tanque de agua, llamado tanque de almacenamiento solar. Se utiliza otro intercambiador de calor para extraer el calor del tanque de almacenamiento solar y hacerlo circular a través de tubos radiantes situados debajo de las camas de cultivo o las mesas de cultivo. Algunos de estos sistemas han sido propensos a fugas e ineficiencias que exigían una gran dependencia de fuentes de calor adicionales. Sin embargo, otros han funcionado bien. Don Bustos, de Santa Fe, Nuevo México, cuenta con un sistema de

calentamiento solar de agua que le permite producir cultivos durante todo el año. Un perfil del programa de Investigación y Educación en Agricultura Sostenible (SARE) explica las prácticas de conservación de energía en la granja de Don.

### *Batería climática*

Otro tipo de sistema de calefacción solar activa para invernaderos es la batería climática, a veces denominada batería de tierra. Una batería climática se instala para capturar el exceso de calor y almacenarlo en la masa térmica del suelo debajo del invernadero, de modo que el calor pueda utilizarse durante el invierno para ayudar a calentar el invernadero. Estos sistemas utilizan ventiladores o sopladores para hacer circular el exceso de aire caliente del invernadero a través de tuberías perforadas enterradas en el suelo debajo del invernadero. Esto calienta el suelo y almacena calor que luego se transfiere de vuelta al invernadero cuando se necesita. Debido a que estos sistemas también aprovechan la temperatura constante de la tierra, se consideran un tipo de sistema geotérmico. Las baterías climáticas también pueden ayudar a mantener las estructuras más frescas en días calurosos y a eliminar el exceso de humedad del aire dentro del invernadero.

### *Estudio de caso: Granja Santa Cruz*

Calentar un invernadero con energía solar fue una decisión lógica para Don Bustos, quien aplica principios de sustentabilidad en sus tres acres y medio de tierra con certificación orgánica en el pequeño pueblo de Santa Cruz. “Quería tener un menor impacto en el planeta y usar la energía de manera más consciente,” dijo Bustos, quien cultiva más de 72 variedades de productos hortícolas, entre ellos moras, frambuesas, fresas, jitomates, calabazas, chiles y verduras para guisar.

Bustos también tenía un poderoso incentivo económico: un invierno, recibió una factura de gas de 700 dólares por la calefacción del invernadero durante un mes. Tras investigar las opciones de energía solar, Bustos finalmente decidió instalar un sistema de calefacción térmica de la zona radicular, financiado en parte por una subvención de SARE.

Para minimizar los costos, Bustos pudo conseguir colectores solares reciclados en el sitio de demolición de un edificio. Los paneles están ubicados a 12 pies del invernadero, orientados hacia el sur y en un ángulo de 45º para maximizar la exposición al sol de invierno. Los paneles generan suficiente calor para elevar la temperatura de una mezcla de glicol y agua a aproximadamente 200ºF. Este fluido calentador circula a través de un sistema de circuito cerrado de tubos de cobre hasta un tanque subterráneo ubicado a solo unos pocos pies de los paneles. Los tubos están enterrados a una profundidad de siete pies para aprovechar las propiedades aislantes naturales del suelo. Un intercambiador de calor eleva la temperatura del agua del tanque a 180ºF. Luego, el agua fluye a través de los tubos de plástico que se encuentran debajo de los semilleros del invernadero, elevando la temperatura del suelo en la zona de las raíces a un nivel óptimo de entre 48 y 52ºF.

La primera temporada fue un gran éxito: los costos anuales de calefacción se redujeron de 2,000 dólares a 0 dólares, y los rendimientos aumentaron entre un 30% y un 40% comparado con los de un semillero estándar. El único costo recurrente relacionado con el sistema de calefacción solar es un cargo mensual de 5 dólares por la electricidad que consumen las dos bombas que hacen circular el agua calentada desde el tanque subterráneo a los tubos que atraviesan el invernadero.

Gracias al sistema de calefacción solar, Bustos ahora puede producir un suministro constante de lechugas, rúcula, acelgas, col rizada, zanahorias y rábanos de octubre a marzo, incluso cuando las temperaturas exteriores caen por debajo del punto de congelación. Durante las noches más frías, Bustos cubre los semilleros con láminas de poliéster, creando iglús que retienen el calor. El sistema incluso funciona a la inversa: cuando el suelo está demasiado caliente durante el verano, Bustos pone en marcha las bombas para hacer circular el agua, que ahora se enfría gracias a las propiedades geotérmicas del almacenamiento subterráneo.

*Extraído de: Energía solar para una producción sostenible durante todo el año. (Western SARE, 2011)*

No hay mucha investigación ni datos sobre la viabilidad económica de las baterías climáticas. Su efectividad puede depender de muchos factores, como la ubicación y el diseño del invernadero, cómo se diseñó e instaló la batería, y los materiales utilizados para enterrar las tuberías. Para obtener más información y recursos sobre los sistemas geotérmicos activos y pasivos para invernaderos, incluyendo características de diseño, componentes y costos, consulta la publicación de ATTRA titulada Invernaderos geotérmicos: explorando el potencial. Para conocer las características de diseño y los resultados de investigación sobre la eficacia de una batería climática instalada, consulta el estudio de caso de Hip Peas Farm que se presenta a continuación y visita el estudio de caso de la batería climática PSU de Threefold Farm, que se encuentra en la sección Recursos adicionales.

### *Caso de estudio: Hip Peas Farm, Hooksett, Nuevo Hampshire*

En Hip Peas Farm se instaló un sistema de batería climática para un túnel alto de 30 pies por 96 pies. El túnel tiene una forma gótica y está compuesto por polietileno inflado de doble capa para el techo y las paredes laterales, y por policarbonato de triple pared para cada pared de los extremos.

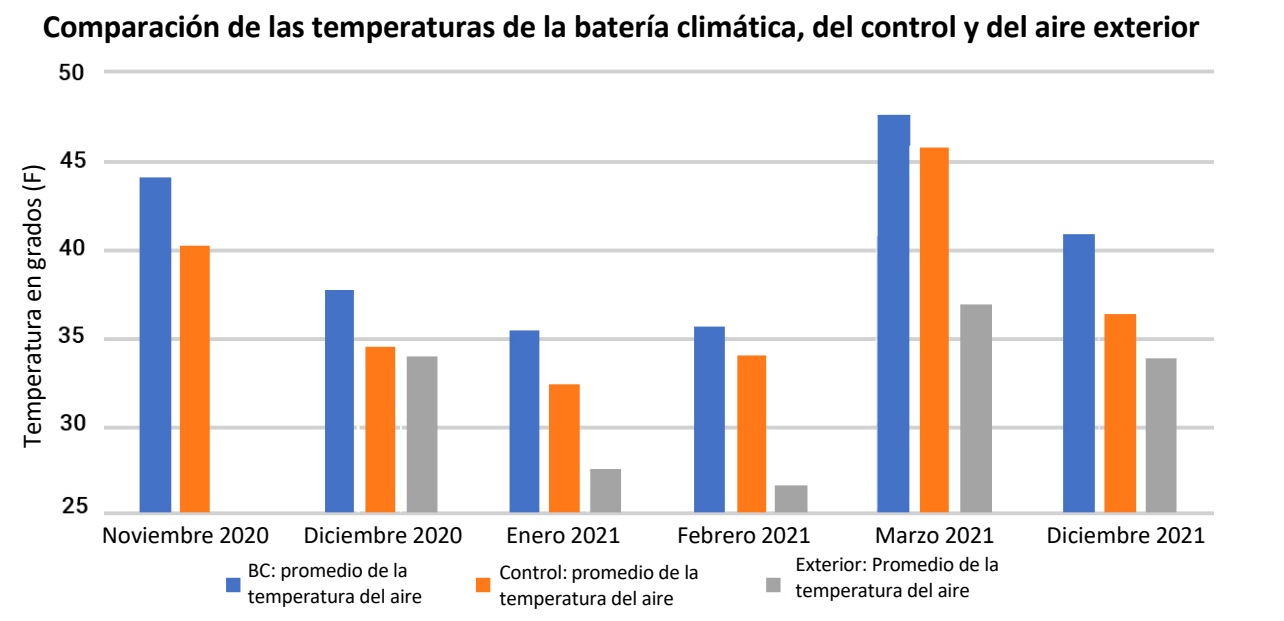
Antes de instalar el túnel, se excavó el sitio a una profundidad de cuatro pies y se colocó una base de tres a seis pulgadas de piedra triturada en el fondo del hoyo. Se colocó una tubería rígida corrugada de 15 pulgadas de diámetro a lo largo del interior de cada pared de extremo. A unas tres pies de cada extremo, se tendieron 22 filas de tuberías flexibles perforadas de 1 pulgada, recubiertas con calcetines de tela, de un extremo al otro, cada una separada por unas 16 pulgadas, conectando los dos colectores de 15 pulgadas. Una vez instaladas, todas las líneas se fijaron con cemento líquido para evitar fugas de aire en los puntos de conexión. El perímetro se revestió con paneles aislantes rígidos de 4 pies por 8 pies y una pulgada de grosor, comenzando desde la superficie del suelo hasta una profundidad de 4 pies, y la primera capa se cubrió con aproximadamente un pie de piedra triturada. Se colocó tela para jardinería sobre la primera capa, y encima de esta se instaló una segunda capa de colectores, tuberías y piedra; luego se cubrió con tela para jardinería, tuberías para un sistema de calefacción radiante y aproximadamente un pie de tierra donde se plantarían los cultivos.



**Colectores conectados mediante tubos flexibles. Foto: Dan Birnstihl, NCAT**

Se otorgó una subvención del programa SARE (Investigación y Educación en Agricultura Sostenible) del Noreste para analizar las diferencias de temperatura entre este túnel y un túnel de control instalado junto a él, el cual contaba con todas las características excepto el sistema de baterías climáticas. Desde noviembre de 2020 hasta diciembre de 2021, se monitorearon la temperatura del aire y la humedad relativa (HR) en cada túnel, así como la temperatura del suelo. La recopilación de datos sobre la temperatura del aire exterior y la HR comenzó en diciembre de 2020. Al momento de la finalización de esta publicación, el proyecto aún se encuentra en curso.

En promedio, la temperatura del aire en el túnel con batería climática (túnel BC) fue 3º más alta en comparación con el túnel de control, y esta diferencia fue estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$). Durante todo el tiempo en que se registraron las temperaturas, la diferencia de calor entre el túnel con batería climática y el túnel de control fue de aproximadamente 716 millones de BTU.




**Comparación de las temperaturas medias del aire. No se registraron datos de la temperatura del aire exterior en noviembre de 2020. Las diferencias en la temperatura del aire fueron estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).**

Aunque se tomaron registros de humedad relativa (HR), las diferencias no fueron tan marcadas: el túnel CB registró un promedio de 93.2 % de HR y el túnel de control, un promedio de 94.7 % de HR. Al igual que las temperaturas del aire, las temperaturas medias del suelo también fueron más altas en el túnel BC (42.1° F) que en el túnel de control (40.2° F). Al momento de redactar este informe, aún no se ha realizado un análisis estadístico de estos datos.

El costo total de la batería climática fue de 18,000 dólares. Este monto se distribuyó en 7,500 dólares en materiales como aislamiento y conductos, 4,000 dólares en excavación, 4,000 dólares en piedra triturada, 1,100 dólares en ventiladores y 2,000 dólares en mano de obra. Los productores de Threefold Farm, en Pensilvania, encargaron a la Universidad Estatal de Pensilvania un análisis de sus sistemas de batería climática. Su experiencia sugiere que el material de relleno extraído del sitio habría sido una mejor opción que la piedra triturada, ya que, mientras la piedra tiene el mayor valor de aislamiento, no transfiere tan bien el calor retenido. En este caso, si se hubieran utilizado los materiales extraídos durante la excavación para cubrir las tuberías, se habría ahorrado el costo de la piedra triturada, lo que habría reducido el costo de la batería a 14,000 dólares.

En los estudios de la PSU también se señalaron otras mejoras en el diseño que podrían aumentar la eficiencia del sistema. Dividir el túnel en tres partes y crear tres bloques separados de 25 pies por 25 pies, cada uno con sus propios colectores y ventiladores, reduciría el volumen de aire que tendrían que mover los ventiladores y sopladores, lo que haría que el sistema fuera más eficiente. El estudio de la PSU también sugiere una orientación alternativa que utiliza dos colectores y cuatro capas por bloque. En el sitio web de Threefold Farm se puede encontrar una representación visual del diseño sugerido. Además, en la granja Hip Peas Farm se utilizaron ventiladores para la batería climática, cuando tal vez los sopladores hubieran sido una mejor opción para la entrada de aire. Sin embargo, los sopladores son, en promedio, más caros que los ventiladores y aumentarían el costo total del sistema.

Los resultados preliminares sobre la eficacia de los sistemas de baterías climáticas para reducir los costos de calefacción y refrigeración en los invernaderos son prometedores. Sin embargo, aún es necesario realizar más investigaciones para determinar la eficacia financiera de estos sistemas. Para obtener más información sobre este estudio de SARE, visita la página del proyecto en el sitio web de SARE.

## Certificación orgánica

El Servicio de Comercialización Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) administra el Programa Nacional Orgánico (NOP), que regula la certificación orgánica en los Estados Unidos. La hoja informativa *Introducción a las prácticas orgánicas* del NOP describe la agricultura orgánica como "la aplicación de un conjunto de prácticas culturales, biológicas y mecánicas que favorecen el ciclo de los recursos de la finca, promueven el equilibrio ecológico y conservan la biodiversidad." Entre ellas se incluyen mantener o mejorar la calidad del suelo y del agua; conservar los humedales, los bosques y la vida silvestre; y evitar el uso de fertilizantes sintéticos, lodos de depuradora, irradiación e ingeniería genética. Los productores orgánicos utilizan procesos y materiales naturales al desarrollar sus sistemas agrícolas; estos contribuyen a la nutrición del suelo, los cultivos y el ganado, al manejo de plagas y malezas, al logro de los objetivos de producción y a la conservación de la diversidad biológica. (USDA-AMS, 2021).

El proceso de transición a la agricultura orgánica requiere una planificación cuidadosa y ajustes a un nuevo sistema de

### *¿Se puede certificar como orgánico un cultivo hidropónico?*

La hidroponía es un método para cultivar plantas utilizando soluciones nutritivas en agua, sin tierra. Los productos hidropónicos y acuapónicos suelen cultivarse en agua que fluye constantemente, en la que se disuelven los nutrientes, y se sostienen normalmente en un medio inerte, como perlita, grava, biocarbón o cáscara de coco. En Estados Unidos, algunas granjas que utilizan estos métodos emplean fertilizantes y prácticas de control de plagas que pueden certificarse como orgánicas a través del Programa Orgánico Nacional (NOP) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). Las regulaciones orgánicas del USDA no prohíben actualmente la producción hidropónica, aunque sí está prohibida en los países europeos. En una declaración de 2018, el NOP afirmó que "la certificación de operaciones hidropónicas, acuapónicas y aeropónicas está permitida según las regulaciones orgánicas del USDA..." (USDA-NOP, 2018). El USDA también señaló que la Junta Nacional de Estándares Orgánicos (NOSB) recomendó prohibir la aeroponía y afirmó además su intención de considerar esta recomendación. Hasta noviembre de 2020, el USDA no había tomado ninguna medida al respecto (Centro Nacional de Derecho Agrícola, 2020). La producción hidropónica orgánica está permitida siempre y cuando el productor pueda demostrar ante el certificador que cumple con las regulaciones orgánicas del USDA.

Aunque el NOP está considerando normas específicas para las operaciones hidropónicas orgánicas, por el momento no existe ninguna propuesta de reglamento. Debido a esto, hay una falta de normas orgánicas que sirvan de guía a los inspectores orgánicos para las instalaciones de producción, así como una falta de coherencia en la forma en que los certificadores acreditados las evalúan. Mientras tanto, las operaciones hidropónicas certificadas bajo el NOP deben cumplir con las regulaciones de cultivos orgánicos tal como están redactadas. Los certificadores acreditados certifican las operaciones hidropónicas orgánicas basándose en las regulaciones orgánicas vigentes y en el Plan del Sistema Orgánico de la operación. En el futuro, el NOP podría proporcionar orientación adicional sobre la producción hidropónica orgánica y sobre cómo se aplican las regulaciones a dichos métodos.

Si estás pensando en solicitar la certificación orgánica del USDA para tu operación hidropónica, consulta con la organizacion certificadora que elijas sobre su interpretación de las regulaciones del USDA—qué está permitido y qué no, según su interpretación—antes de iniciar el proceso de certificación. Muchos organizaciones de certificación interpretan que las normas exigen que los cultivos se desarrollen en suelo para cumplir con las regulaciones del USDA. La certificación orgánica de cultivos producidos mediante métodos hidropónicos o acuapónicos sigue siendo un tema controvertido. En el centro del debate se encuentra la cuestión fundamental del papel del suelo en la producción orgánica y si los sistemas sin suelo son compatibles con la producción orgánica.

**Aunque el proceso puede ser más complicado que en el campo, es posible obtener los nutrientes adecuados a partir de fuentes orgánicas en un invernadero, pero esto requiere una gestión cuidadosa y creativa.**

gestión, así como la elaboración de un Plan del Sistema Orgánico. El nuevo sistema de gestión exigirá ajustes en materia de fertilidad, manejo de plagas, mano de obra y requisitos de mantenimiento de registros. También es necesario analizar detenidamente los nuevos canales de comercialización, la fijación de precios y el etiquetado. La certificación orgánica puede ser costosa. Los programas de costos compartidos para la certificación pueden compensar una parte de los gastos de certificación. Otras agencias del USDA, como el NRCS, ofrecen asistencia e incentivos para la transición a la agricultura orgánica. Hable con su certificador sobre la duración del período de transición para su operación. Mientras que esta es una de las normas que requiere mayor aclaración, el tiempo de transición puede variar según las prácticas de producción previas y los materiales utilizados, especialmente en el caso de operaciones en contenedores o sin suelo, que suelen emplearse en la producción en invernadero. Para obtener más información sobre la certificación orgánica y el proceso de transición, consulte la sección de Agricultura Orgánica en el sitio web de ATTRA.

## Fertilidad y manejo del suelo

Entre las publicaciones de ATTRA que exploran el manejo sostenible de la fertilidad en mayor detalle se encuentran: *Manejo de los suelos para el agua: cómo cinco principios de salud del suelo favorecen la infiltración y el almacenamiento de agua* y *Enmiendas alternativas para el suelo*.

Aunque el proceso puede ser más complicado que en el campo, es posible obtener los nutrientes adecuados a partir de fuentes orgánicas en un invernadero, pero esto requiere una gestión cuidadosa y creativa. Ningún fertilizante por sí solo proporcionará todos los elementos esenciales necesarios, pero se puede juntar una combinación de productos orgánicos. La disponibilidad de nutrientes en un invernadero puede variar ampliamente, dependiendo de los materiales aplicados y de las condiciones ambientales que afecten la actividad microbiana en el entorno del invernadero. Muchos productores orgánicos dependen de la rotación de cultivos con cultivos de cobertura para manejar la fertilidad del suelo, la materia orgánica y las plagas. Es más difícil hacer esto en un invernadero, donde el espacio es limitado.

La mayoría de los productores de invernadero que no utilizan sistemas hidropónicos cultivan sus cosechas en suelo, ya sea en sacos, en camas elevadas o directamente en la tierra. En esos casos, el manejo de la fertilidad es similar al de la producción al aire libre, y muchos nutrientes se obtienen mediante la incorporación de materia orgánica "como compost, estiércol o turba" y fertilizantes orgánicos granulados complementarios. La Tabla 1 contiene una lista de los fertilizantes granulados más comunes utilizados en la producción orgánica durante el invernadero.

Douglas Cox, de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Massachusetts, sugiere utilizar inicialmente un fertilizante granular de liberación lenta en los cultivos de invernadero y, posteriormente, complementarlo con una fertirrigación líquida después de 30 días. Su investigación ha demostrado que los cultivos de invernadero tienden a sufrir toxicidad por amoníaco, lo cual se manifiesta como clorosis intervenoso en la planta. "Es muy probable que esta clorosis sea causada por una acumulación excesiva de nitrógeno amoniacal en la planta, lo que se conoce como "toxicidad por amoníaco". La mayoría de los cultivos de invernadero se desarrollan mejor con una combinación de nitrógeno amoniacal y nitrógeno nítrico. Desafortunadamente, los fertilizantes orgánicos generalmente no contienen nitrógeno nítrico." (Cox, 2014).

La aplicación de fertilizante líquido a través de las líneas de riego, una técnica conocida como fertirrigación, es una práctica común en la producción en invernadero. El nitrógeno y el fósforo son los dos nutrientes principales que se inyectan mediante los sistemas de fertirrigación. La fertirrigación puede proporcionar dosis suplementarias de estos nutrientes, especialmente en

### *Tabla 1. Fertilizantes orgánicos previos a la siembra*

| Fertilizantes | NPK estimado | Liberación de nutrientes |
|---|---|---|
| Harina de alfalfa | 2.5-0.5-2.0 | Medio-rápido |
| Harina de sangre | 12.5-1.5-0.6 | Lento |
| Harina de semilla de algodón | 7.0-2.5-1.5 | Lenta-media |
| Harina de cangrejo | 10.0-0.3-0.1 | Lento |
| Harina de plumas | 15.0-0.0-0.0 | Lento |
| Harina de pescado | 10.0-5.0-0.0 | Medio |
| Harina de granito | 0.0-0.0-4.5 | Muy lento |
| Arena verde | 0.0-1.5-5.0 | Muy lento |
| Guano de murciélago | 5.5-8.6-1.5 | Medio |
| Harina de algas marinas | 1.0-0.5-8.0 | Lento |
| Estiércol seco | Variable | Medio |
| Guano de aves marinas | 12.3-11.0-2.5 | Lenta-media |
| Fosfato natural | 0.0-18.0-0.0 | Lento a muy lento |
| Harina de soya | 6.5-1.5-2.4 | Lenta-media |
| Ceniza de madera | 0.0-2.5-5.0 | Rápido |
| Humus de lombriz | 1.5-2.5-1.3 | Medio |

períodos críticos durante la temporada de crecimiento, como la fructificación. La fertirrigación no sustituye a un programa completo de fertilidad del suelo y debe considerarse parte del plan general de manejo de nutrientes para el invernadero. Para que la fertirrigación sea eficaz, el fertilizante debe ser completamente soluble; de lo contrario, obstruirá los emisores. Hoy en día existen muchas opciones de fertilizantes orgánicos solubles. Para calcular el costo de los productos fertilizantes para invernaderos, puede resultar útil la calculadora de fertilizantes orgánicos desarrollada por la Universidad Estatal de Oregón que se encuentra en la sección Recursos adicionales. (Miles et al., 2015).

La Tabla 2 se reproduce con permiso de la obra *Organic Soilless Greenhouse Systems* (2021), de Lynette Morgan. La tabla enumera diversos síntomas de deficiencia de nutrientes y soluciones de origen orgánico, y resulta muy útil para identificar y resolver problemas de deficiencias de nutrientes en un invernadero de cultivo orgánico.

La salinidad tiende a ser un problema mayor en los invernaderos que en el campo, ya que el suelo no está expuesto a lluvias intensas que eliminen las sales que se acumulan por la aplicación de estiércol, compost y fertilizantes. Dado que el espacio en los invernaderos es limitado, es difícil practicar la rotación de cultivos; sin embargo, un estudio sobre la salinidad y la calidad del suelo en sistemas de invernadero demostró que los rendimientos disminuyen significativamente después de cinco años consecutivos de cultivar el mismo cultivo en sistemas de hortalizas de invernadero. Además, la materia orgánica del suelo y los organismos del suelo disminuyeron, mientras que la salinidad aumentó. Los rendimientos más altos se observaron cuando se incluyó un cultivo de cobertura en la rotación, pero esto puede resultar difícil en invernaderos. Puede ser necesario regar el invernadero después de la cosecha con un aspersor, para lixiviar la sal a través del perfil del suelo. La salinidad parece ser un problema mayor cuando se practica el cultivo continuo en el invernadero (Liang et al., 2013; Gougoulias, 2011).

### *Tabla 2. Estrategias orgánicas para las deficiencias de nutrientes**

| ELEMENTO | SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA | SOLUCIÓN |
|---|---|---|
| Nitrógeno (N) | Las hojas viejas se vuelven de color verde pálido y luego amarillas, con venas y nervio central rojizos. Crecimiento atrofiado. | Sangre seca, harina de pescado o guano extraído en agua. Agrega cantidades mayores en tu próximo lote de compost. |
| Fósforo (P) | Crecimiento atrofiado, hojas de color verde opaco con matices morados. Las hojas viejas se queman en los bordes y se marchitan prematuramente. Floración precoz y prematura. | Agrega fosfato de roca reactivo, fosfato de calcio o extracto de guano en solución. Agrega mayores cantidades de guano, harina de huesos o harina de pescado al siguiente lote de compost. |
| Potasio (K) | Hojas pequeñas, oscuras, de color verde azulado y brillantes, ligeramente curvadas hacia atrás. Las hojas viejas presentan manchas amarillas y los bordes quemados se curvan hacia arriba. Sistema radicular pequeño. | Agrega más extracto de algas marinas a la solución nutritiva y al sulfato de potasio. Agrega mayores cantidades de cenizas al próximo lote de compost. |
| Calcio (Ca) | Las hojas jóvenes están curvadas hacia atrás, con manchas blancas alrededor de los bordes. Estas manchas se vuelven marrones con el tiempo. El borde de la hoja se enrolla hacia adelante. | El calcio suele estar presente de forma natural en el agua, sobre todo en las fuentes de agua dura. Agrega cal a la solución. Agrega mayores proporciones de harina de huesos, yeso o dolomita al próximo lote de compost. |
| Magnesio (Mg) | Las hojas adquieren un tono bronceado y, más adelante, aparecen manchas amarillas entre las nervaduras. | Agrega dolomita o serpentina, o sulfato de magnesio en solución. Agrega mayores cantidades de dolomita y estiércol animal al próximo lote de compost. |
| Azufre (S) | Las hojas viejas se vuelven moradas y luego se marchitan. Las hojas jóvenes son pequeñas y amarillas entre las nervaduras. | Azufre, sulfato de potasio o sulfato de magnesio en solución. Se necesitarán mayores proporciones de yeso y estiércol de aves en el próximo lote de compost. |
| Manganeso (Mn) | Las venas se distinguen claramente, con zonas amarillas entre ellas. A medida que la planta envejece, aparecen pequeñas manchas muertas y áreas con aspecto de papel. Crecimiento lento de las raíces. | Agrega más extracto de algas marinas o sulfato de manganeso. |
| Boro (B) | Raíces agrietadas o delgadas y deformadas. Raíces con la superficie desgarrada y con parches, y con una corteza opaca. | Agrega un poco más de extracto de algas marinas, bórax o Solubor. |
| Hierro (Fe) | Las hojas son muy pálidas, sobre todo las más jóvenes al inicio de la temporada. Las nervaduras se mantienen oscuras. | Agrega más extracto de algas marinas, citrato de hierro o sulfato de hierro. |

**Reproducido con autorización de: Morgan, Lynette. 2021. Organic Soilless Greenhouse Systems, Capítulo 7 en: Hydroponics and Protected Cultivation - A Practical Guide. CAB International, Oxfordshire, Reino Unido, págs. 100-114.*

## *Estudio de caso: Las granjas de Five College*

Por Daniel Prial, NCAT



Al acercarse a Five College Farms temprano en la mañana, es fácil ver las luces LED rojas de cultivo que nutren a las plantas. Foto: NCAT

Five College Farms es una operación de cultivo de hortalizas orgánicas en invernadero de dos acres y 52,000 pies cuadrados ubicada en Hadley, Massachusetts. Los actuales propietarios convirtieron un antiguo vivero en una fuente de productos de invernadero cultivados localmente, específicamente pepinos persas y tomates tradicionales. Aunque en el momento de escribir este artículo llevaba menos de cinco años en el mercado, la empresa ya registra ventas que superan el millón de dólares. Sin embargo, los costos de mantener una operación de cultivo orgánico en invernadero son igualmente elevados.

Las verduras de Five College Farms crecen en largos canales llenos de tierra, lombrices, insectos beneficiosos y mucho más. Los agricultores están orgullosos de su sustrato vivo. Todos sus fertilizantes y enmiendas son de origen vegetal. Para comprender las necesidades de sus plantas, Five College Farm tiene un contrato con un laboratorio en los Países Bajos para analizar la savia de las plantas. Recogen hojas viejas y



Arthur Mulyono, gerente comercial. Foto: NCAT



Hileras de pepinos crecen hacia el techo y se nutren con luces LED rojas de cultivo. Están protegidas por tiras de cinta amarilla que controlan las plagas del invernadero. Más atrás, colgando del techo, hay una máquina de dióxido de carbono azul que quema gas natural para elevarel nivel de dióxido de carbono en el invernadero para las plantas.Entre las canaletas de plantas hay vías para moverla maquinaria. Foto: NCAT

**CONTINÚA EN LA PÁGINA SIGUIENTE**

hojas jóvenes de plantas dispersas en su invernadero y las envían cada dos semanas durante la temporada de cultivo. Esto les brinda información inmediata sobre el estado de su operación y les permite proporcionar exactamente lo que las plantas necesitan en cualquier momento dado. Los análisis de savia que reciben les indican los niveles de azúcar, potasio, calcio, magnesio, sodio, amonio, nitrógeno y mucho más. Para satisfacer las necesidades de las plantas, Five College Farms selecciona de una amplia lista de productos químicos agrícolas aprobados por Baystate Organic Certifiers, su programa de certificación orgánica de Massachusetts.

El control de plagas en el invernadero consiste en una combinación de identificación y respuesta. Dentro y por encima de las hileras de plantas hay grandes tiras de cinta colorida. La cinta amarilla atrae a la mayoría de las plagas, mientras que la azul atrae específicamente a los trips. La granja también cuenta con un pasante de una de las universidades locales para que realice un inventario periódico de las plagas de insectos en los invernaderos. Luego, con base en sus resultados, consultan una lista de productos químicos agrícolas y manejan sus problemas de plagas. Los costos se acumulan rápidamente. Por ejemplo, tratar cada dos plantas en un invernadero de 10,000 plantas con una bolsita de insectos beneficiosos para controlar los ácaros, puede costar más de 6,000 dólares a la semana.

Para recuperar esos costos, es necesario vender un producto de alta calidad a un precio superior. Esto se complica aún más porque Five College Farms vende por mayor directamente a supermercados regionales y cooperativas de alimentos como Wegmans, Whole Foods y Big Y. Para competir con los productos orgánicos de invernadero procedentes de México y Canadá, Five College Farms se enfoca en sus raíces locales. Venden un producto cultivado en Massachusetts. Aun así, a menudo necesitan entrar a los supermercados y tratar directamente con el consumidor final. Realizan demostraciones de productos de manera habitual, ofreciendo muestras gratuitas de sus tomates y pepinos. Gracias al sabor de sus variedades tradicionales, estos se venden fácilmente. Los pepinos, sin embargo, necesitan más promoción. Al final, se apoyan en sus dos mayores fortalezas: son locales de Nueva Inglaterra y son una operación de invernadero totalmente orgánica.



**Suelo del invernadero de Five College Farms. Foto: NCAT**

El compostaje juega un papel importante en el manejo de nutrientes para todas las granjas orgánicas, incluyendo las que producen en invernaderos. Sin embargo, no todo el compost es igual. Si vas a comprar compost, asegúrate de conocer el contenido de nutrientes y sales del producto final. Además, es útil saber qué productos se utilizan en el proceso de compostaje. Muchos compost que se venden como "biosólidos" están compuestos por lodos de drenaje compostados. Estos productos no solo suelen contener trazas de metales pesados, además su uso está prohibido en la producción orgánica. Para obtener más información sobre el uso del compost en un sistema de producción en invernadero, consulta el video de la Universidad de Cornell *Floricast: Understanding compost, vermicomposts, and teas* (Comprender el compost, el vermicompost y los tés) en la sección Recursos adicionales.

### *Tabla 3. Variedades de cultivos de cobertura adecuadas para túneles altos*

| FUNCIÓN | LEGUMBRES | PASTOS | BRÁSICAS | OTROS |
|---|---|---|---|---|
| Muerte invernal | Frijol de vaca *(Vigna unguiculata)* | Avena *(Avena sativa)* | Rábano forajerro *(Raphanus sativus)* | |
| | | Mijo japonés *(Echinocholoa esculenta)* | | |
| | Vicia vellosa *(Vicia villosa)* | Centeno de invierno *(Secale cereale)* | | |
| | Trébol rojo *(Trifolium pratense)* | Trigo de invierno *(Triticum aestivum)* | | |
| Supervivencia invernal | Guisante de campo *(Pisum sativum)* | | La mayoría de los cultivos de cobertura del género Brassica no resisten el invierno de manera confiable en las regiones del norte. | |
| | Trébol subterráneo *(Trifolium subterraneum)* | | | |
| | Trébol carmesí *(Trifolium incarnatum)* | | | |
| Plantado en verano | Frijol de vaca | Pastos de Sudán (Sorghum bicolor (L.) Moench) | Rábano forajerro | Trigo sarraceno *(Fagopyrum esculentum)* |
| | Cáñamo sunn *(Crotalaria juncea)* | Sorgo-sudán (Sorghum × drummondii) | | |
| | | | | |
| Sembrado en primavera | Vicia vellosa | Centeno de invierno | Rábano forajerro | |
| | Tréboles (rojo, blanco, dulce, carmesí, berseem) | Trigo de primavera *(Triticum aestivum)* | | |
| | | Avena | | |
| | | Festucas (Festuca spp.) | | |
| Cultivos intercalados/ Cultivos para pasillo | Tréboles (rojo, blanco, dulce, berseem, carmesí) | Raigras perenne (Lolium spp.) | | |
| | | Centeno de invierno / Centeno forrajero | | |

*Perkus, E. y cols. 2019. Opciones para incluir cultivos de cobertura en las rotaciones de tuneles altos en el norte de Estados Unidos.*

**Las estrategias para el control de malezas sin herbicidas dentro de un invernadero incluyen una combinación de desyerbe con azadón, labranza mecánica, pasteurización con vapor, solarización del suelo y aplicación de mantillo (de tela, plástico u orgánico).**

Los cultivos de cobertura se integran perfectamente en los invernaderos de suelo que tienen un período de descanso (como en verano), siempre que se esté dispuesto a ceder temporalmente ese espacio productivo. Los cultivos de cobertura a corto plazo incluyen algunas leguminosas, el trigo sarraceno, el raigrás anual, la avena, la colza *(Brassica napus)* y el rábano oleaginoso *(Raphanus sativus var. oleiferus)*. A menudo, la elección del cultivo de cobertura dependerá de la rotación de hortalizas y del propósito que se busque. Los cultivos de cobertura pueden reponer y ayudar a aumentar la materia orgánica en los suelos, incrementar la actividad microbiana, aportar nitrógeno y ayudar a prevenir o controlar enfermedades y nematodos, especialmente cuando se utilizan cultivos de cobertura de brassicas y rábano oleaginoso.

En un estudio sobre cultivos de cobertura en el cultivo de pepinos en invernadero en Turquía, los investigadores descubrieron que el abono verde (cultivos de cobertura cultivados exclusivamente para mejorar la fertilidad) mejoró el contenido de materia orgánica y nitrógeno de los suelos. Al analizar los demás nutrientes disponibles en el suelo, se determino que estos eran suficientes, al igual que el contenido de nutrientes de los pepinos. Recomendaron el guisante y la veza como cultivos de abono verde de invierno para la producción de hortalizas en invernaderos. El estiércol avícola también produjo efectos positivos, en particular en el contenido total de nitrógeno del suelo. Por lo tanto, podría utilizarse junto con cultivos de abono verde según el contenido de nitrógeno del suelo (Tuzel et al., 2013).

Para aumentar la fertilidad del suelo, Living Web Farms siempre tiene un cultivo de cobertura creciendo en algún lugar de su invernadero. Los productores dividen las áreas de producción con cultivos de cobertura dentro de su invernadero. Esta estrategia de rotación se puede ver en el video de Living Web Farms titulado *Unusual Cover Crops in the Greenhouse*, que se encuentra en la sección Recursos adicionales. “Tratamos de dedicar una temporada a los cultivos de cobertura en cada cama. Esto ayuda mucho con los problemas de enfermedades, que son un gran inconveniente cuando se cultivan los mismos cultivos repetidamente,” dice Patryk Battle, director de esta granja educativa, de investigación y sin fines de lucro.

La Tabla 3 procede de un artículo de eOrganic que identifica los cultivos de cobertura útiles para la producción en túneles de plástico, lo cual también es aplicable a la producción en invernaderos con suelo.

## Control de malezas

Las estrategias para el control de malezas sin herbicidas dentro de un invernadero incluyen una combinación de desyerbe con azadón, labranza mecánica, pasteurización con vapor, solarización del suelo y aplicación de mantillo (de tela, plástico u orgánico).

El uso de plástico en los invernaderos, especialmente el plástico negro, es bastante común para muchos tipos de hortalizas de invernadero, ya que también aumenta la temperatura del suelo, lo que permite sembrar los cultivos más temprano y aprovechar los precios fuera de temporada que son esenciales para los invernaderos. Las normas del NOP exigen la retirada del plástico después de cada temporada de cultivo. El NOP permite el uso de mantillos de papel y, por supuesto, ciertos tipos de cartón y periódico. El papel tiende a descomponerse y es difícil de recoger una vez terminada la temporada, lo que dificulta el laboreo. En este momento, no se permite el uso de mantillos de plástico biodegradables en las granjas orgánicas. Aunque los mantillos de plástico biodegradables puedan cumplir con los requisitos de biodegradabilidad del NOP (90 % de biodegradación en un plazo de dos años), actualmente no se ha aprobado ningún producto para su uso en la producción orgánica certificada porque, hasta ahora, ninguno cumple con el requisito de ser completamente de origen biológico (Miles et al., 2017).

La práctica de la ocultación, o cubrir con lonas, se ha utilizado tanto dentro como fuera de los invernaderos con resultados





**Control de malezas en sistemas de cultivo en suelo. Hoch Orchards utiliza como cubierta vegetal el pasto que se obtiene al cortar el césped de sus huertos en su invernadero de arcos, donde se cultivan frutas sensibles al frío. Fotos: NCAT**

anecdóticos. En este proceso se riega el suelo y luego se coloca una lona negra sobre él durante al menos un mes. Las malezas germinan con la humedad y luego mueren por falta de luz solar. Esto tiene un gran impacto en las malezas anuales, pero no tanto en las perennes. Para obtener más información sobre el uso de lonas, véase Lounsbury et al., 2022.

Para obtener más información sobre el uso de mantillos en sistemas orgánicos, consulta la hoja informativa de los Servicios de Comercialización Agrícola del USDA titulada "Mantillos permitidos en granjas orgánicas y el futuro de los mantillos biodegradables" que se encuentra en la sección de Referencias.

### *Desinfección del suelo*

Una de las principales preocupaciones en los sistemas de cultivo bajo cubierta es la esterilización del suelo, o pasteurización, para el control de los patógenos transmitidos por el suelo. Los métodos de desinfección incluyen la solarización, el vapor, el calor eléctrico y el control biológico. Para obtener más información sobre el tratamiento del suelo con vapor, consulta el blog de ATTRA titulado *Tratamiento del suelo con vapor para el control de patógenos, plagas y malezas en túneles altos.*

La solarización es un método para eliminar enfermedades y malezas mediante el calentamiento del suelo a temperaturas lo suficientemente altas como para matar las semillas de malezas y los microorganismos. Por lo general, se lleva a cabo colocando plástico transparente sobre el suelo. Mientras que esta técnica se utiliza con mayor frecuencia para eliminar los organismos causantes de enfermedades en el suelo, también puede ser eficaz contra muchas malezas y sus semillas. Por ejemplo, diversos estudios han demostrado que la solarización es eficaz contra las semillas de la pamplina *(Stellaria media)*. Por lo general, no es eficaz contra malezas con tubérculos o rizomas profundos, como las gramíneas perennes, por ejemplo, el pasto Johnson *(Sorghum halepense).*

Una investigación realizada en la Universidad de California en Davis demostró los principios clave para llevar a cabo con éxito la solarización de malezas (Fennimore, 2018):

1. Usa plástico transparente.
2. Coloca la lámina cuando haga calor.
3. Para que la solarización sea eficaz, es necesario que el calor penetre bien en el suelo. Esto se ve favorecido por altos niveles de humedad en el suelo, por lo que se debe regar el suelo antes de

**Los invernaderos ofrecen un entorno adecuado para el uso del control biológico en el manejo de plagas.**

colocar el plástico. Se deben minimizar los espacios de aire entre el plástico y el suelo, ya que impiden la transferencia de calor al suelo.

4. Deje el plástico sobre el suelo durante al menos cuatro semanas para eliminar eficazmente las malezas. El tiempo necesario variará según la calidad de la lámina de plástico utilizada, las temperaturas predominantes y las especies de malezas presentes.

Consulta la hoja informativa de ATTRA titulada *Solarización y biosolarización del suelo* para obtener más detalles sobre cómo llevar a cabo la solarización del suelo.

## Control de plagas

Aunque se dice que los invernaderos protegen contra ciertas plagas, pueden surgir problemas importantes relacionados con insectos y enfermedades en los invernaderos si no se aplican prácticas adecuadas de higiene y de manejo integrado de plagas (MIP).

Los invernaderos ofrecen un entorno adecuado para el uso del control biológico en el manejo de plagas. Muchos agentes de control biológico útiles, también llamados enemigos naturales, se producen comercialmente y, con frecuencia, pueden incorporarse como parte de una estrategia de manejo integrado de plagas (MIP) orgánico dentro del invernadero. Otra opción es el diseño paisajístico de los terrenos con plantas que atraigan a los polinizadores y a los enemigos naturales en los invernaderos, siempre y cuando estos estén abiertos al exterior con fines de ventilación. Esta técnica también puede aplicarse dentro del invernadero para aprovechar el control biológico mediante los enemigos naturales introducidos, sobre todo si producen flores de corte.

Cuando fallan los controles preventivos y biológicos, se pueden utilizar ciertos productos químicos de origen orgánico como último recurso. La Base de datos de control sostenible de plagas y malezas de ATTRA puede servir para encontrar productos adecuados para el manejo orgánico de la mayoría de las plagas de invernadero. El manejo orgánico de plagas comienza por comprender el ciclo de vida de la plaga.

Para obtener información general, consulta el tutorial sobre manejo ecológico de plagas de ATTRA.

### *Manejo de enfermedades*

Aunque muchas enfermedades, especialmente las foliares que se propagan a través del viento y la lluvia, se controlan simplemente mediante la producción en invernadero, en estos ambientes existe una mayor susceptibilidad a las enfermedades que se propagan en condiciones de alta humedad, como la botritis y el moho blanco. Al igual que en el campo, las enfermedades de los invernaderos pueden controlarse mediante el manejo integrado de plagas (MIP), que incluyen prácticas de cultivo, variedades resistentes y la aplicación de materiales aprobados para su uso en sistemas de producción orgánica. La rotación de cultivos, los cultivos de cobertura y la aplicación de compost de alta calidad son medidas eficaces que ayudan a prevenir las enfermedades en los invernaderos.

Además, las investigaciones han demostrado que un mayor contenido de materia orgánica da lugar a una comunidad microbiana más extensa y variada, lo que se traduce en la supresión de los patógenos del suelo y en una mejor salud de las plantas. Una investigación de la Universidad Estatal de Ohio ha demostrado que las plantas de tomate cultivadas en suelo enriquecido con compost en túneles altos presentaban una cantidad significativamente menor de moho blanco que aquellas cultivadas en suelo sin compost. El tizón temprano también se redujo en los tomates cultivados en suelo enriquecido con compost, en comparación con los cultivados en suelo sin enriquecer en túneles altos (Miller, 2018).

El manejo ambiental de las enfermedades incluye la circulación del aire y el riego por goteo para evitar que el agua se estanque en las hojas. Además, evita manipular las

plantas a primera hora de la mañana, cuando se ha condensado agua en el follaje.

La selección de variedades o cultivares juega un papel importante en el éxito de la producción de hortalizas en invernadero.

Los cultivares suelen tener su origen en programas de mejoramiento en invernadero, donde la selección se basa en la resistencia a las enfermedades y la capacidad de rendir bajo las condiciones climáticas del invernadero. Los proveedores de semillas para invernadero y el Servicio de Extensión Cooperativa pueden recomendar los cultivares adecuados. Otra consideración en la producción orgánica certificada en invernadero es que se deben adquirir semillas orgánicas, a menos que no sea posible obtener una variedad o cantidad específica de un proveedor orgánico certificado. No hay excepción por el costo. Como se menciona en el *Manual para productores de invernaderos y túneles,* las semillas son una inversión importante y vale la pena gastar más en semillas libres de enfermedades y variedades específicas para invernadero (Mefferd, 2017), particularmente para la certificación de Buenas Prácticas de Semillas y Plantas (GSPP), que identifica semillas cultivadas para minimizar los patógenos. Al comprar semillas, busque variedades orgánicas y con certificación GSPP.

El injerto se ha utilizado durante años como técnica para el manejo de enfermedades en las plantas, principalmente en árboles frutales y plantas ornamentales.

### *Consejos para el injerto*

*(Fuente: Gagne et al., 2020)*

**CONSEJO 1:** Empieza con semillas de buena calidad. Las semillas de mala calidad pueden provocar una germinación deficiente, un mayor riesgo de enfermedades y un crecimiento irregular de las plántulas, lo cual dificultará mucho más la viabilidad del injerto.

**CONSEJO 2:** Siempre haz una pequeña prueba antes de usar un cultivar por primera vez. Sembrar unas cuantas semillas y cultivarlas hasta que alcancen el tamaño adecuado para el injerto puede ayudarte a determinar la tasa de germinación, la tasa de crecimiento y la consistencia del cultivar.

**CONSEJO 3:** Siembra la variedad de portainjerto dos días después de la variedad de injerto. Los cultivares de portainjerto tienen un crecimiento vigoroso y, por lo tanto, crecen más rápido y alcanzan el diámetro de tallo suficiente para el injerto antes que las variedades de injerto.

**CONSEJO 4:** Elige una pinza de injerto transparente que sea un poco más pequeña que el diámetro del tallo de la plántula, para que la unión quede bien ajustada y se pueda ver mejor la zona injertada.

**CONSEJO 5:** Al realizar los cortes, es importante utilizar una navaja bien afilada, como una hoja de afeitar nueva, un cuchillo recién afilado o un cuchillo de injerto nuevo colocado en una herramienta de injerto. Las herramientas de injerto se pueden adquirir en el mercado y ayudan a garantizar ángulos de corte perfectamente uniformes.

**CONSEJO 6:** Para proyectos de injerto a gran escala, se puede utilizar una cámara climatizada con un sistema de nebulización capaz de alcanzar una humedad cercana al 100 % en lugar de las cúpulas de humedad.

**CONSEJO 7:** Las bandejas y las cúpulas de humedad se pueden reutilizar varias veces; sin embargo, es fundamental lavarlas y desinfectarlas antes de volver a usarlas.

Aunque el proceso de injerto puede requerir algo de tiempo y esfuerzo para perfeccionarlo, el equipo de Cornell logra una tasa de éxito del 95 al 100 % al seguir estos pasos. El injerto lleva mucho tiempo y las semillas pueden ser costosas. Por lo tanto, debería reservarse para cultivos de alto valor. El libro *Greenhouse and Hoophouse Grower's Handbook*, publicado recientemente por Andrew Mefferd (editor de *Growing for Market*), cuenta con un capítulo detallado sobre el injerto. Consulte la sección Recursos adicionales para obtener información sobre cómo adquirir este valioso recurso.

Recientemente, se ha empezado a aplicar en hortalizas de alto valor, como los tomates, las cucurbitáceas y los chiles. El objetivo del injerto es combinar y aprovechar los rasgos beneficiosos tanto del portainjerto como del injerto (la parte superior de la planta que produce frutos).

Una publicación del programa de Agricultura en Ambientes Controlados de la Universidad de Cornell, titulada "Guía para el injerto de tomates: consejos de Cornell para el éxito" ofrece varios consejos excelentes para realizar injertos con éxito.

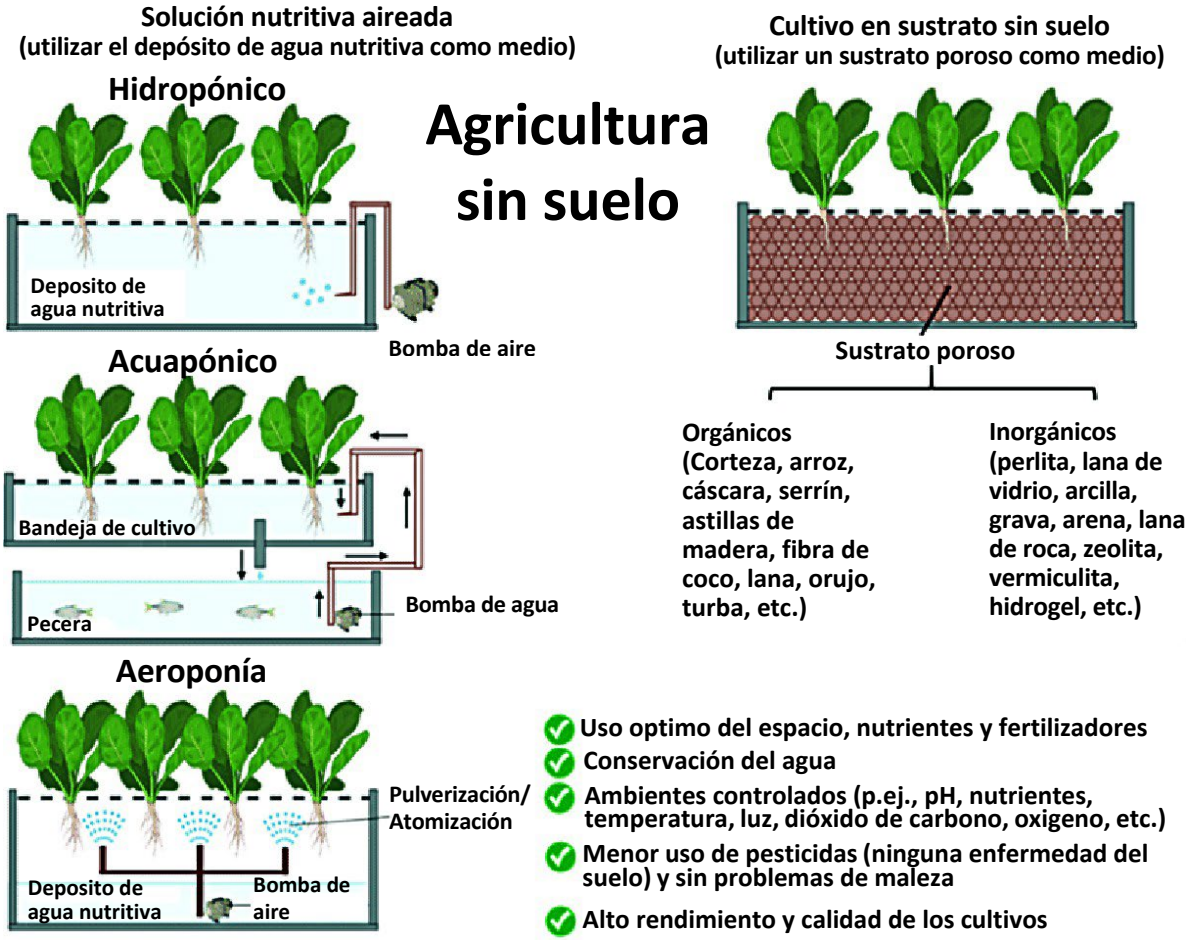
## Sistemas de invernaderos

### *Cultivo en suelo vs. cultivo sin suelo*

La producción en invernadero se basa en el cultivo con suelo o sin suelo. En el cultivo con suelo, las hortalizas se producen en el suelo natural o en suelo que se introduce al interior del invernadero y se coloca en un sistema de camas elevadas. El cultivo sin suelo, principalmente hidropónico o acuapónico, consiste en la producción de plantas en un medio sin suelo.

En el siguiente diagrama se muestran las categorías de cultivo sin suelo, junto con ejemplos de los tipos de sustratos que se utilizan en cada una de ellas.

En 1974, el 70 % de la producción en invernaderos de EE. UU. se basaba en el cultivo en suelo y el 30 % en el cultivo sin suelo. En la última década se ha producido un cambio significativo hacia los sistemas sin suelo. Los datos más recientes del censo de 2019 muestran que el 53 % de las hortalizas cultivadas bajo protección provienen de sistemas hidropónicos (USDA NASS, 2019). De hecho, esto representa una disminución con respecto a los datos del censo de 2014, en los que el cultivo sin suelo representaba el 60 %. Existen varias




*Fuente: Maluin et al., 2021. Creative Commons.*

razones por las que el cultivo sin suelo se volvió tan popular:

1. Eliminación de los tratamientos de fumigación y con vapor para las enfermedades transmitidas por el suelo
2. Facilidad de instalación (una vez completada la instalación inicial)
3. Asistencia técnica disponible para sistemas de cultivo sin suelo
4. Control de la fertilidad mediante fertilizantes solubles comerciales

Aunque el NOP ha permitido la certificación



**Lechuga hidropónica. Foto: NCAT**

de operaciones hidropónicas, existen muchos retos para la hidroponía orgánica certificada, entre ellos el desarrollo de sustancias aprobadas que sean solubles. La disponibilidad de fertilizantes orgánicos solubles aprobados en los últimos años ha facilitado el cultivo hidropónico con productos aprobados para la agricultura orgánica. El punto conflictivo es si los certificadores reconocerán que la producción orgánica puede realizar sin suelo, ya que el suelo y el manejo orgánico del suelo fueron una premisa y la intención del proceso original de certificación orgánica. Esto sigue siendo así en gran medida en otras partes del mundo.

Esta publicación contiene información limitada sobre la producción hidropónica, pero no es un recurso exhaustivo. Existen muchos recursos disponibles, y la sección Recursos adicionales de esta publicación enumera algunos recursos clave sobre la producción hidropónica de hortalizas.

### *Cultura en bolsas*

El cultivo en bolsas puede realizarse con un sustrato a base de tierra, compost o mediante un sistema sin tierra. El cultivo en bolsas consiste en cultivar las plantas en un sustrato contenido en bolsas de polietileno, ya sean de cultivo plano (acostadas) o verticales (con un tamaño de dos a cinco galones), y alimentarlas con fertilizantes líquidos a través de líneas de riego por goteo. Los sustratos pueden ser turba/vermiculita, aserrín, lana de roca, cáscara de arroz, corteza de pino, cáscara de maní, compost, tierra vegetal o mezclas de cualquiera de estos. El cultivo en bolsas es versátil, se adapta tanto al sistema hidropónico (usando sustratos y fertilizantes líquidos) como al cultivo tradicional en suelo, donde la mayor parte de la fertilidad proviene de una mezcla que incluye compost.

Las bolsas verticales deben comprarse en un proveedor de productos para invernaderos. Por lo general, contienen una planta por bolsa. Las bolsas de cultivo planao están cerradas, están hechas de polietileno de 4 mil (.10 milímetros) con protección contra los rayos UV y, por lo general, vienen prellenadas con sustrato. Las bolsas planas suelen contener dos o tres plantas por bolsa. Las



**Bolsa de cultivo plano. Foto: Extensión Agrícola de la Universidad de Florida**

**En la hidroponía, las plantas se cultivan en un medio sin suelo y se nutren con fertilizantes solubles. Existen dos grandes categorías de hidroponía: la hidroponía líquida y la hidroponía con agregados.**

bolsas se colocan, en la mayoría de los casos, en filas dobles dentro del invernadero.

El cultivo en bolsas es ideal para la producción de cultivos de tallo vertical y trepadores, como los jitomates, los pepinos y los chiles. El cultivo en bolsas se ha convertido en el método preferido para la producción de hortalizas en invernadero en muchas partes de los Estados Unidos, ya que es fácil de implementar y manejar con éxito. Un problema del cultivo en bolsas es la posibilidad de que el exceso de solución fertilizante se filtre por los orificios de drenaje de las bolsas y llegue al suelo del invernadero. Otro es la necesidad de desecharlas en el caso de la producción orgánica.

La adaptación del cultivo en bolsas a la producción estándar en un invernadero con certificación orgánica requiere mezclas de tierra para macetas orgánicas especialmente formuladas. Una mezcla de tierra para macetas orgánica no debe incluir fertilizantes sintéticos ni agentes humectantes, y debe tenerse en cuenta en los costos de producción. Los productores pueden adquirir mezclas de tierra para macetas con certificación orgánica de un proveedor comercial o prepararlas ellos mismos. Las hortalizas orgánicas cultivadas en bolsas pueden incluir una combinación de sistemas de fertilización incorporada que incluyen aplicación en la superficie del suelo, líquida y foliar. Consulte la publicación de ATTRA titulada *Mezclas de tierra para macetas para la producción orgánica certificada* para obtener un resumen de los sustratos y fertilizantes que se pueden utilizar en los sistemas de producción orgánico.

### *Cultivo en cama de siembra poco profunda*

El cultivo en cama poco profunda, también conocido como cultivo en capa delgada, consiste en la producción de brotes, hierbas herbáceas y hortalizas en una capa delgada (de una a tres pulgadas de profundidad) de sustrato para macetas o compost, colocada sobre un mantillo de plástico, malla antihierbas o en recipientes poco profundos. Entre los cultivos herbáceos adaptados al cultivo en cama poco profunda se incluyen lechugas especiales, verduras de hoja verde, berros, hierbas culinarias y microverduras.

Las microverduras son una excelente fuente de ingresos complementaria para los agricultores. Se pueden cultivar con relativamente pocos insumos y tienen un ciclo de producción muy rápido, desde la siembra hasta la cosecha. Las semillas pueden ser muy caras en el caso de las variedades especiales de microverduras, por lo que deben tenerse en cuenta en el análisis empresarial.

Escucha el podcast de ATTRA con Joe Martínez, de Arizona Microgreens, en el que describe sus estrategias de producción y comercialización de microverduras.

### *Hidroponía*

En la hidroponía, las plantas se cultivan en un medio sin suelo y se nutren con fertilizantes solubles. Existen dos grandes categorías de hidroponía: la hidroponía líquida y la hidroponía con agregados. La hidroponía sigue siendo un tema polémico entre los productores orgánicos de invernadero.

Los sistemas líquidos incluyen la técnica de película de nutrientes (NFT), la aeroponía, la balsa flotante y el cultivo hidropónico sin circulación de agua. Los sistemas con sustrato incluyen sustratos inertes, orgánicos y mixtos, y se contienen en configuraciones de bolsas, canaletas, zanjas o en bancas.

Los sistemas de riego por goteo, como el NFT, suelen gestionarse como sistemas cerrados o de recirculación. Los sistemas de riego por agregados, por su parte, suelen gestionarse como sistemas abiertos o de fertirrigación por inundación y drenaje.

### *Acuaponía*

La acuaponía ofrece una buena solución al problema de la fertilidad en los invernaderos hidropónicos. Consulta la publicación de ATTRA titulada *Acuaponía: sistemas multitróficos para la producción sostenible de alimentos.*



Tanque de acuaponía. Foto: NCAT

### *Agricultura vertical*

La agricultura vertical es probablemente el sector de crecimiento más rápido dentro de la industria de la hidroponía, gran parte de la cual no se cultivaba en invernaderos. Las inversiones a gran escala han permitido que se pongan en marcha enormes instalaciones de varios niveles en zonas urbanas.

La inversión es esencial en este tipo de operación debido a los elevados costos iniciales y de insumos, especialmente la electricidad. La fórmula que actualmente funciona y es rentable consiste en cultivos que requieren baja intensidad de luz, ciclo de producción corto y alta densidad (Adams, 2017).

Queda por ver si las granjas verticales pueden ser rentables. La mayoría de estas granjas cuentan con inversionistas, y sus mayores costos son la energía y la mano de obra. Es importante señalar que algunas de las instalaciones de agricultura vertical más grandes han quebrado en los últimos años.

## Aspectos económicos de la producción de hortalizas en invernadero

Además de la inversión inicial en la construcción del invernadero, la mano de obra y la energía suelen ser los dos mayores gastos recurrentes de un invernadero. Si logras encontrar una forma de reducir los costos de uno de ellos o de ambos, aumentarás tus posibilidades de obtener ganancias. El programa de Investigación y Educación en Agricultura Sostenible (SARE) financió un estudio sobre el retorno de la inversión en la granja Comida de Campos, en Nuevo México. El objetivo era producir tomates durante todo el año, especialmente en invierno, cuando los productos frescos y locales alcanzan precios más altos. El invernadero ya estaba instalado, pero se le añadió un sistema eléctrico de calefacción de la zona radicular a base de agua, con aislamiento tanto en el fondo como en los laterales. Sus cálculos resultaron acertados, ya que tardaron aproximadamente dos años en recuperar su inversión. Ese cálculo también incluía el costo del invernadero. Vendieron su producto a precios más altos en mercados de agricultores y a través de una tienda de abarrotes local. Para obtener más información y sugerencias de cálculo, consulta el informe de SARE titulado *Evaluación de la viabilidad económica de la producción de alto valor en invernaderos* en la sección Recursos adicionales.

El sector de las hortalizas de invernadero es muy competitivo, especialmente si se pretende vender a través de los canales de los mercados mayoristas. La competencia de países exportadores como México y Canadá ha reducido el precio mayorista de las hortalizas de invernadero. Los mercados mayoristas de productos fuera de temporada suelen saturarse, lo que provoca una caída en los precios de los productos. La competencia proviene tanto de una industria nacional ya establecida como de las importaciones holandesas.

Debido a los altos costos de la producción en invernadero, la mayoría de los productores se enfocan en cultivos de alto valor. Los jitomates son el principal cultivo de hortalizas de invernadero, seguidos por los pepinos europeos, las hierbas aromáticas, la lechuga, los chiles y las fresas. Los estados líderes en la producción orgánica de hortalizas de invernadero son Alaska y Connecticut. En cuanto a la producción general de cultivos de invernadero, California y Texas lideran la producción (USDA NASS,

2019). Es aquí donde se encuentran los centros de producción, que sirven tanto como fuente de competencia como de suministros y asistencia técnica.

### *Costos de los invernaderos*

Cada operador tendrá costos diferentes asociados a su invernadero, por lo que es importante entender cuáles son tus costos. Lo mismo ocurre con los ingresos generados por tu invernadero. Antes de invertir mucho dinero en un proyecto de invernadero, los productores deben analizar los precios de los productos agrícolas en su región y calcular su costo de producción, incluyendo el costo de construir el invernadero. Existen muchas herramientas de cálculo que te ayudarán a analizar diferentes proyectos de invernadero.

Un estudio sobre la producción orgánica de fresas en invernadero en Florida indicó que el retorno de la inversión de las fresas orgánicas era mayor que el de las fresas cultivadas de manera convencional en invernadero. Tanto las fresas convencionales

### *Calculadoras de presupuesto para invernaderos*

Hay disponible una calculadora interactiva de presupuesto para invernaderos que permite analizar hasta cinco cultivos diferentes. La Calculadora interactiva de presupuesto para cultivos en invernadero fue diseñada por el Dr. Robin G. Brumfield, especialista en gestión agrícola de Rutgers, la Universidad Estatal de Nueva Jersey en New Brunswick (2018). El Dr. Brumfield también ha desarrollado un programa de contabilidad de costos para invernaderos con el fin de ayudar a los productores de invernadero a comprender los costos de cultivos específicos.

Otra calculadora gratuita para invernaderos virtuales, llamada Virtual Grower, te proporcionará los costos anuales de calefacción, refrigeración e iluminación para ubicaciones específicas y está disponible sin costo alguno a través del Servicio de Investigación Agrícola del USDA. Permite ingresar datos como los materiales del invernadero, la ubicación, el tipo de plantas que se cultivan, la cantidad de iluminación y el tamaño del invernadero. Esto puede darte una idea precisa de tus costos al iniciar tu operación, hasta que puedas comprender tus propios costos mediante el mantenimiento de registros. A modo de ejemplo, esta herramienta calcula que los costos anuales de calefacción, refrigeración e iluminación para un invernadero en Pueblo, Colorado, aproximan a los $12,000 para un invernadero de paneles de policarbonato de 100 pies por 30 pies con doble capa de policarbonato en la parte superior.

Ten en cuenta que estos cálculos se refieren a sistemas de invernadero convencionales. Los costos de fertilizantes, control de plagas y mano de obra pueden ser mas altos en los sistemas de producción orgánica.

### *Tabla 4. Costos de producción de fresas y rentabilidad por acre.*

*Fuente: Cantliffe et al., 2008*

| TIPO DE PRODUCCIÓN | COSTOS POR ACRE | GANANCIAS POR ACRE |
|---|---|---|
| Invernadero organico | $158,076/acre | $25,602/acre |
| Invernadero convencional | $168,951/acre | $3,855/acre |
| Crecido en el campo | $25,602/acre | $2,419/acre |

como las orgánicas cultivadas en invernadero generaron un rendimiento de la inversión significativamente mayor que las fresas cultivadas en campo. Los autores señalaron que, aunque la producción en invernadero requiere una inversión de capital significativamente mayor, las ganancias potenciales de las fresas orgánicas cultivadas en invernadero eran hasta 9.5 veces mayores que las de la producción en campo (Cantliffe et al., 2008).

La publicación del editor de Growing for Market, Andrew Mefferd, titulada *The Organic Greenhouse and Hoophouse Grower's Handbook* (Manual del cultivador orgánico de invernaderos y túneles), sugiere que hay ciertos gastos en los que vale la pena invertir más. Uno de esos productos son las semillas. Las semillas para variedades de invernadero suelen tener un precio más alto que las de las variedades cultivadas en campo. La empresa Johnny's Selected Seeds, con sede en Maine, señala que, al seleccionar variedades especiales para la producción en invernadero, se obtiene lo que se paga. El mejoramiento y el desarrollo de variedades para cultivos protegidos son mucho más especializados, y el rendimiento debe ser mayor para justificar la inversión adicional que requieren tanto el mejorador como el productor (Johnny's Selected Seeds, 2013).

### *Ingresos de los invernaderos*

Los rendimientos de los vegetales de invernadero, junto con el canal de comercialización, determinan las ventas brutas potenciales. Los rendimientos típicos de los tomates de invernadero son de 20 a 30 libras por planta, o de dos a tres libras por pie cuadrado. Los pepinos de invernadero producen alrededor de dos docenas de frutos por planta. Los pimientos de invernadero producen de dos y media a tres libras por pie cuadrado. Un estudio realizado sobre la iluminación LED complementaria en tomates demostró un aumento del 40 % en el rendimiento en comparación con el grupo de control. Se trató de un metaanálisis de numerosos estudios, por lo que no se evaluó si los costos de los sistemas de iluminación LED justificaban el aumento en el rendimiento (Appolloni et al., 2021). Si intentas cultivar cultivos frutales durante el invierno en latitudes del norte, estos requerirán iluminación complementaria. Este es un cálculo de costos importante, ya que los gastos de iluminación serán significativos y estarán sujetos a variaciones en los costos de la electricidad.

**Los rendimientos de los vegetales de invernadero, junto con el canal de comercialización, determinan las ventas brutas potenciales.**

En la producción de tomate en invernadero, por ejemplo, aumentar el rendimiento de 20 a 25 libras por planta genera un beneficio económico adicional de $3,960. Un aumento en el rendimiento de cinco libras incrementaría los costos de cosecha, empaque y comercialización en $1,162, lo que dejaría un beneficio adicional para la mano de obra y la administración de $2,798. Se podrían lograr aumentos de rendimiento de esta magnitud mediante el ajuste de las variedades, el ajuste de la fertilidad, la polinización y el manejo de plagas. Sin embargo, estas estimaciones de rendimiento probablemente no sean realistas para un productor de invernadero principiante, y se deben tomar en cuenta estimaciones de rendimiento realistas para los productores principiantes al iniciar un negocio de invernadero. Es más probable que los productores de invernadero sin experiencia tengan un rendimiento más cercano a las 15 libras por planta (Hochmuth et al., 2001).

*La Guía de horticultura para pequeñas superficies* de Texas A&M estima que, para un invernadero que opera todo el año y cultiva pepinos, lechuga y jitomates con un sistema de enfriamiento por evaporación, los costos oscilan entre 7 y 10 dólares por pie cuadrado, y entre 20 y 25 dólares (en el caso de los cultivos hidropónicos) en el otro extremo. Con rendimientos potenciales de entre una y 25 libras por pie cuadrado, la ganancia potencial puede llegar hasta los $20 por pie cuadrado, una vez que se haya recuperado la inversión inicial en la construcción del invernadero. Al calcular las ganancias, especialmente para un cultivador principiante, es recomendable tomar el valor medio de este número (Extensión AgriLife de Texas A&M, sin fecha).

**La producción orgánica de hortalizas en invernadero tiene potencial como mercado de nicho para productos fuera de temporada y como método de producción sostenible.**

Como sugerencia, los productores deberían recopilar toda la información económica posible sobre el negocio de las hortalizas de invernadero antes de construir un invernadero y conocer cuánto costará el invernadero por pie cuadrado antes de decidir qué cultivar en él. Los ingresos dependerán de su ubicación y del canal de comercialización. Sugerimos explorar otros negocios relacionados con los invernaderos y determinar si las hortalizas ofrecen el mejor retorno de la inversión. Por ejemplo, los productores de hortalizas de invernadero en algunas partes del país han comenzado a diversificarse hacia las plantas de jardín de primavera porque ese mercado es más lucrativo.

## Avances en la industria de los invernaderos

Un avance interesante es la introducción de abejorros para la polinización de los tomates de invernadero. La polinización manual es costosa (en términos de mano de obra), tediosa y requiere mucho tiempo. Varias empresas están criando abejorros para utilizarlos en la polinización en invernaderos. Aunque las colmenas son caras, los retornos de la inversión resultan ser buenos.

En los últimos cinco años también han surgido muchos nuevos pesticidas de origen biológico. Algunos de estos pesticidas biorracionales (también conocidos como pesticidas de menor toxicidad, o biopesticidas) incluyen el Bacillus thuringiensis (para plagas de las crucíferas) y la Beauveria bassiana. El uso de agentes de control biológico también ha aumentado en la última década. Ahora se sabe mucho más sobre cómo aprovechar al máximo estos insectos y sobre cómo aplicar insecticidas sin dañar a los depredadores. Para obtener más información al respecto, consulta la Base de datos de control sostenible de plagas y malezas de ATTRA.

Otro cambio que se está produciendo con respecto a los recubrimientos para invernaderos. Los plásticos modernos para invernaderos son resistentes a la degradación causada por la luz ultravioleta y están diseñados para durar varios años. Esto reduce los gastos anuales en materiales, la mano de obra necesaria para el recubrimiento y los costos de eliminación. Las láminas estructuradas son la alternativa de lujo a los invernaderos de plástico tipo Quonset. Son más caras de comprar e instalar, pero ofrecen un control ambiental óptimo y tienen una vida útil muy larga. La investigación sobre la química relacionada con los acristalamientos de invernaderos tiene como objetivo el ahorro de energía, el control de plagas y la mejora del crecimiento de las plantas.

## Conclusión

La producción orgánica de hortalizas en invernadero tiene potencial como mercado de nicho para productos fuera de temporada y como método de producción sostenible. Los sistemas con suelo se adaptan fácilmente a la producción orgánica certificada, pero se debe prestar atención especial al control de las enfermedades transmitidas por el suelo. Los sistemas sin suelo también pueden adaptarse a la producción orgánica; sin embargo, la certificación de estos sistemas puede resultar más difícil. Los invernaderos orgánicos requieren una inversión inicial considerable. Es importante comprender los cálculos del costo de producción. Encontrar un mercado adecuado y vender en mercados rentables te ayudará a recuperar tu inversión.

## REFERENCIAS


Adams, 2017. Paul. ¿Qué se necesita realmente para que las granjas verticales tengan éxito? The Counter.

Appolloni, E., F. Orsini, G. Pennisi, X. Gabarrell Durany, I. Paucek y G. Gianquinto. 2021. La iluminación LED complementaria mejora de manera efectiva el rendimiento y la calidad de la producción de tomate en espaldera en invernadero: resultados de un metaanálisis. Frontiers in Plant Science. Vol. 29, n.º 12. p. 596927.

Bartok, John Jr. 2022. Correspondencia por correo electrónico con el autor. Noviembre.

Bartok, John Jr. 2015. Calor geotérmico para invernaderos. E-Extension. Noviembre.

Bartok, John W. 2015. «Pautas para la ventilación natural». Greenhouse Management. Agosto.

Belmontes, Alfredo Díaz. 2016. México: Aumento anual de 1 200 hectáreas en la industria de los invernaderos. HortiDaily News. Abril.

Bomford, Michael. 2010. Invernaderos solares al estilo chino. Energy Farms.

Burfield, Tom. 2019. Se dispara la producción mexicana en invernaderos. The Packer. Agosto de 2019.

Brumfield, Robin. 2018. Presupuesto interactivo de cultivos en invernadero. Rutgers: Universidad Estatal de Nueva Jersey en New Brunswick.

Cantliffe, Daniel, James Webb y John Vansickle. 2008. Las ganancias potenciales de las fresas orgánicas cultivadas en invernadero son mayores que las de las fresas convencionales cultivadas en invernadero o en campo en Florida. Actas de la Sociedad Hortícola del Estado de Florida. Vol. 121. págs. 208–213.

Cox, Douglas. 2014. Fertilizantes orgánicos: reflexiones sobre el uso de fertilizantes orgánicos líquidos para plantas de invernadero. Escuela de Agricultura de Stockbridge. Universidad de Massachusetts, Amherst.

Fennimore, Steve. Abril de 2018. Solarización del suelo. Ciencias Vegetales de la Universidad de California en Davis. Proyecto de póster.

Gagne, Charles, Masaki Kurosaki, Dylan Kovach y Neil Mattson. 2020. Guía para el injerto de tomates: consejos de Cornell para el éxito. Programa de Agricultura en Ambiente Controlado. Universidad de Cornell. Octubre.

Gougoulias, Nikolaos. 2011. Evaluación de un programa de manejo de la fertilización: salinidad del suelo en cultivos de pepino en invernadero. Universidad de Craiova. Vol. XVI (LII). Departamento de Producción Vegetal, Instituto de Educación Tecnológica de Larisa, Grecia.

Grubinger, Vern. 2010. Nutrición de los tomates orgánicos de invernadero. Extensión de la Universidad de Vermont.

Hochmuth, G.J., W.D. Thomas, M.S. Sweat y R.C. Hochmuth. 2001 (actualizado en 2008). Consideraciones financieras – Manual de producción de hortalizas en invernadero de Florida, vol. 1. Universidad de Florida – Extensión IFAS.

Johnny's Selected Seeds. 2013. Conceptos básicos sobre el cultivo en ambiente protegido.

Liang, Y., X. Lin, S. Yamada, M. Inoue y K. Inosako. 2013. Degradación del suelo y medidas de prevención en la producción en invernadero. Springer Plus, 11 de diciembre. Vol. 2, Suplemento 1. p. S10.

Liu, X., Z. Li, L. Zhang, Y. Liu, Y. Li y T. Li. 2021. Efecto de las secciones de tubo único en la seguridad estructural de los armazones de invernaderos solares chinos. Scientific Reports. Vol. 11. p. 19307.

Lounsbury, N., S. Birthisel, J. Lilley y R. Maher. 2022. El uso de lonas en el noreste: una guía para pequeñas granjas. Extensión de la Universidad de Maine. Boletín n.º 1075.

Maluin, F.N., M.Z. Hussein, N.N.L. Nik Ibrahim, A. Wayayok y N. Hashim. 2021. Algunas oportunidades emergentes del desarrollo de la nanotecnología para la agricultura sin suelo y el cultivo de microverduras. Agronomía. Vol. 11, n.º 6. p. 1213.

Mefferd, Andrew. 2017. Manual para productores de invernaderos y túneles de plástico. Chelsea Green Publishing, White River Junction, Vermont.

Miles, Carol, Jonathan Roozen, Elizabeth Maynard y Timothy Coolong. 2015. La fertirrigación en los sistemas de producción de hortalizas orgánicas. E-Extension.

Miles, Carol, Lisa DeVetter, Shuresh Ghimire y Douglas G. Hayes. 2017. Idoneidad de los mantillos plásticos biodegradables para sistemas de producción agrícola orgánica y sostenible. HortScience. Vol. 52, n.º 1. págs. 10-15.

Miller, Sally. 2018. Manejo de enfermedades en los tomates orgánicos cultivados en invernaderos y túneles altos. Universidad Estatal de Ohio. E-Organic.

Morgan, Lynette. 2021. «Sistemas orgánicos de cultivo sin suelo en invernadero», capítulo 7. En: Hidroponía y cultivo protegido: una guía práctica. CAB International, Oxfordshire, Reino Unido. págs. 100-114.

Centro Nacional de Derecho Agrario. 2020. La lucha por lo orgánico: la certificación hidropónica en la mira. Noviembre.

Junta Nacional de Normas Orgánicas. 2010. Normas de producción para plantas terrestres en macetas y recintos. Recomendación formal de la Junta Nacional de Normas Orgánicas (NOSB) al Programa Orgánico Nacional (NOP). Abril.

Perkus, E., A. Pfeiffer, C. Thurston, L. Fucui y J. Grossman. 2019. Opciones para incluir cultivos de cobertura en las rotaciones de tuneles altos en el norte de Estados Unidos. E-Organic.

Sanford, Scott. 2011a. Calentadores de invernadero: tipos, ubicación y eficiencia. Publicación A3907-02. Extensión Cooperativa de la Universidad de Wisconsin. Universidad de Wisconsin, Madison, WI.

Sanford, Scott. 2011b. Uso de cortinas para reducir los costos de calefacción y refrigeración en invernaderos. Publicación A3907-03. Extensión Cooperativa de la Universidad de Wisconsin. Universidad de Wisconsin, Madison, WI.

Sutterlin, William, R., PhD. 2011. Materiales de cambio de fase: una breve comparación entre bolsas de hielo, sales, parafinas y materiales de cambio de fase de origen vegetal.

Extensión Agrilife de Texas A&M. Sin fecha. Guía de cultivos de hortalizas de invernadero. Programa de Pequeñas Superficies de Texas A&M.

Thomas, Andrew, L. A. Becker y R. J. Crawford Jr. 2003. Un invernadero con calefacción solar y de bajo consumo energético produce hortalizas de temporada fría durante todo el invierno. Sistemas alimentarios comunitarios y agricultura sostenible. Universidad de Missouri. Columbia, MO.

Tuzel, Y., Hale Duyar, Golgen Bahar Oztekin y Özlem Gürbüz Kılıç. 2013. Efectos del abono verde de invierno en la producción orgánica de pepino en invernaderos sin calefacción. Revista Turca de Agricultura y Silvicultura. Vol. 37, n.º 3. págs. 315-325.

Administración de Información Energética de Estados Unidos (USEIA). 2021. La biomasa explicada: la biomasa y el medio ambiente.

Extensión de la Universidad de Georgia. 2014. Invernaderos: calefacción, refrigeración y ventilación. Boletín 792. Extensión Cooperativa de la UGA.

Servicio de Comercialización Agrícola (AMS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Sin fecha. «Cubiertas vegetales permitidas en granjas orgánicas y el futuro de las cubiertas vegetales biodegradables».

Programa Nacional Orgánico del Servicio de Comercialización Agrícola (AMS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). 2021. Manual del programa: Orientación e instrucciones para agentes certificadores acreditados y operaciones certificadas.

Servicio de Investigación Económica (ERS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). 2019. Encuesta sobre productos orgánicos de 2019. Volumen 3, Parte 4, AC-17-SS-4. Tabla 14, p. 128.

USDA NASS. 2019. Censo de horticultura. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos/Servicio Nacional de Estadísticas Agrícolas, Washington, D.C.

Programa Nacional Orgánico del USDA. 2018. Situación actual de los sistemas de producción orgánica hidropónica, acuapónica y aeropónica. Actualizaciones de otoño de 2017 de la Junta Nacional de Normas Orgánicas. Organic Insider. Enero.

Investigación y Educación sobre Agricultura Sostenible en el Oeste (SARE). 2011. Energía solar para una producción sostenible durante todo el año. Informe final del proyecto FW05-011. Don Bustos. Granja Santa Cruz.

# Recursos adicionales

### *Información general sobre los invernaderos*

Manual para productores de invernaderos y túneles de plástico. 2017. Por Andrew Mefferd. Chelsea Green Publishing.
*Una guía completa sobre la producción orgánica de hortalizas mediante cultivos protegidos, que incluye información sobre estructuras, mejores prácticas para los ocho cultivos más rentables e información económica y de comercialización.*

### *Mercadotecnia*

Tutorial sobre comercialización a través de intermediarios. Centro Nacional de Tecnología Apropiada (ATTRA), Programa de Agricultura Sostenible.
*Un tutorial que presenta consideraciones y consejos para vender a restaurantes, tiendas de abarrotes independientes, instituciones y distribuidores mayoristas.*

### *Consideraciones sobre el consumo energético en los invernaderos*

Prueba de rendimiento de ventiladores agrícolas. Sin fecha. Porel Departamento de Ingeniería Agrícola yBiológica de la Universidad de Illinois.
*El Departamento de Ingeniería Agrícola y Biológica de la Universidad de Illinois mantiene esta base de datos de pruebas de rendimiento de ventiladores agrícolas. Los resultados de las pruebas de rendimiento y los índices de eficiencia pueden utilizarse para seleccionar ventiladores en función del consumo de energía.*

Recursos para invernaderos en climas fríos: Una guía para diseñar y construir un invernadero en climas fríos. 2013. Por Jody Rader, Dan Handeen y Virajita Singh. Los Regentes de la Universidad de Minnesota. Minneapolis, Minnesota.
*Este manual ofrece una visión integral de las razones para cultivar hortalizas durante todo el año en climas fríos, así como de las consideraciones de diseño y los componentes de construcción necesarios para un invernadero de bajo consumo energético que funcione todo el año.*

Invernaderos para pleno invierno. Sin fecha. Por la Extensión de la Universidad de Minnesota.
*Esta página ofrece diseños de invernaderos solares pasivos para la producción de hortalizas en invierno. Se incluye un enlace a las especificaciones de diseño, basadas en investigaciones, para un invernadero solar a escala agrícola.*

Combustibles y fuentes alternativas de calor para invernaderos comerciales. 2013. Por John Bartok Jr. Centro de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de la Universidad de Massachusetts Amherst.
*Este artículo ofrece una buena visión general y una comparación de costos de los combustibles más comunes utilizados para calentar invernaderos, así como de algunos combustibles alternativos.*

Invernaderos geotérmicos: explorando el potencial. 2021. Por Victorian Smart, Danielle Miska y Katie Simpson-Johnson. Centro Nacional de Tecnología Apropiada (ATTRA), Programa de Agricultura Sostenible.
*Esta publicación ofrece información básica sobre la tecnología de energía geotérmica y su potencial en los invernaderos.*

Calor geotérmico para invernaderos. Extension.org.
*Recursos sobre invernaderos geotérmicos.*

Lista de verificación para el ahorro de energía en invernaderos. 2019. Por John Bartok Jr.
*Este documento es una guía de referencia rápida que recoge las medidas de ahorro de energía más rentables que pueden incorporarse al diseño y la gestión de los invernaderos. Se puede consultar como una publicación en el sitio web del Agrisolar Clearinghouse del NCAT.*

Autoevaluación energética de invernaderos. Sin fecha. Por el NRCS del USDA. Universidad de Wisconsin.
*Esta es una herramienta desarrollada por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) y alojada en un sitio web de la Universidad de Wisconsin. Los usuarios pueden ingresar información sobre la ubicación y detalles específicos de su invernadero para conocer cómo los sistemas alternativos de calefacción, refrigeración y control podrían reducir el consumo de energía y los gastos relacionados.*

Introducción a la eficiencia de los invernaderos y al ahorro de energía. Sin fecha. Por John Bartok Jr. y Vern Grubinger. E-Extension - Farm Energy.
*Esta es la página principal sobre energía en invernaderos del sitio web de Farm Energy Extension. Esta página contiene listas de recursos recopilados, organizados por temas relacionados con la eficiencia de los invernaderos.*

Resumen del estudio sobre baterías climáticas de la PSU 2018-2019. Threefold Farms.
*Threefold Farm es un huerto ubicado en el centro-sur de Pensilvania. Esta página del sitio web de la granja destaca el diseño y la instalación de un sistema de calefacción con batería climática para un túnel alto utilizado para el cultivo de higos. En la página se incluyen los resultados de un proyecto de investigación realizado por la Universidad Estatal de Pensilvania (PSU) que estudió el desempeño de la batería climática en Threefold Farm.*

Reducción de los costos de calefacción y del uso de combustibles fósiles en los túneles altos de Nueva Inglaterra mediante el uso de un intercambiador de calor tierra-aire. 2023. Informe del proyecto SARE.
*Este es el informe final sobre el proyecto del sistema de «batería climática» en Hip Peas Farm, que se presenta en el estudio de caso anterior.*

Virtual Grower. Sin fecha. USDA ARS.
*Virtual Grower es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para productores de invernadero. Los usuarios pueden construir un invernadero con una variedad de materiales para techos y paredes laterales, diseñar el estilo del invernadero, programar los puntos de referencia de temperatura a lo largo del año y predecir los costos de calefacción y el crecimiento de las plantas para más de 785 ubicaciones dentro de los Estados Unidos. Los usuarios descargan y ejecutan este programa en sus computadoras, pero la versión web se encuentra en etapa beta. Se puede obtener asistencia técnica para el software a través del correo electrónico virtualgrower@usda.gov.*

### *Certificación orgánica para invernaderos*

Ficha informativa: Introducción a las prácticas orgánicas. 2015. Elaborada por el Servicio de Comercialización Agrícola del USDA.
*Un resumen de dos páginas sobre los principios y requisitos para obtener la certificación orgánica.*

Manual del Programa Nacional Orgánico: Orientación e instrucciones para agentes certificadores acreditados y operaciones certificadas. Actualizado periódicamente. Servicio de Comercialización Agrícola del USDA.
*Este enlace lleva al índice de la guía para obtener la certificación orgánica.*

### *Suelo y fertilidad*

Floricast: Todo lo que hay que saber sobre el compost, el vermicompost y los tésde compost. Sin fecha. Por Neil Mattson. Programa de Ciencias Integrativas de las Plantas de la Universidad de Cornell.
*Un video de siete minutos que presenta aspectos a tener en cuenta al utilizar compost, vermicompost, tés de compost y extractos.*

Calculadora de fertilizantes orgánicos y cultivos de cobertura: Estimación de la liberación de nitrógeno disponible para las plantas a partir de los cultivos de cobertura. Sin fecha. Universidad Estatal de Oregón.
*Una calculadora que ayuda a los productores a comprender el costo de los fertilizantes orgánicos para uso en invernaderos.*

Opciones para incluir cultivos de cobertura en las rotaciones de tuneles altos en el norte de Estados Unidos. 2018. Por Elizabeth Perkus, et al. E-Organic y la Universidad de Minnesota.
*Este artículo explica cómo los cultivos de cobertura pueden ayudar a abordar los problemas que afectan la producción en tuneles altos, tales como las enfermedades transmitidas por el suelo, la pérdida de materia orgánica, el crecimiento de malezas y la acumulación de salinidad.*

Mezclas de sustrato para la producción orgánica certificada. 2018. Por George Kuepper; actualizado por Luke Freeman. Centro Nacional de Tecnología Apropiada (ATTRA), Programa de Agricultura Sostenible.
*Ofrece un resumen de los sustratos y fertilizantes que se pueden utilizar en los sistemas de producción orgánica.*

Cultivos de cobertura poco comunes en el invernadero. Por Living Web Farms: videos sobre suelos de invernadero.
*Un video de seis minutos explica cómo Living Web Farms utiliza cultivos de cobertura poco comunes para romper la capa compactada del suelo y hacer aflorar los nutrientes de las capas más profundas del suelo.*

### *Control de plagas*

Cubiertas vegetales permitidas en granjas orgánicas y el futuro de las cubiertas vegetales biodegradables. Sin fecha. Por el Serviciode Comercialización Agrícola del USDA, Programa Nacional Orgánico.
*El Servicio de Comercialización Agrícola del USDA responde a las preguntas más frecuentes sobre las cubiertas vegetales actualmente permitidas en granjas orgánicas y el potencial del uso de cubiertas vegetales biodegradables en el futuro.*

Tutorial sobre manejo ecológico de plagas. 2015. Elaborado por el Centro Nacional de Tecnología Apropiada (NCAT) y el Programa de Agricultura Sostenible de ATTRA.
*Las cinco lecciones de este tutorial ofrecen información sobre qué es el manejo ecológico de plagas, cómo dar los primeros pasos, cómo implementar estrategias preventivas, cómo utilizar controles biológicos y cómo aprovechar los recursos del NCAT y de ATTRA.*

Guía para el injerto de tomates: consejos de Cornell para tener éxito. 2020. Por Charles Gagne, Masaki Kurosaki, Dylan Kovach y Neil Mattson. Greenhouse Product News. Octubre.
*Consejos útiles sobre el injerto de tomates.*

Cómo injertar tomates: un video instructivo y una hoja informativa. 2013. Por Judson Reid, Programa de Hortalizas de la Universidad de Cornell.
*El injerto puede aumentar significativamente el rendimiento de los tomates y mejorar la resistencia de las plantas a las enfermedades transmitidas por el suelo, especialmente en los sistemas de producción en invernadero. Judson Reid, especialista en hortalizas de extensión del Programa de Hortalizas de Cornell, ha desarrollado un tutorial paso a paso para los productores sobre cómo injertar tomates.*

Informe de investigación sobre la técnica de ocultación en el campo de la CAFF. 2018. Por la Alianza de Agricultores Familiares de California. Informe de investigación de Western SARE.
*Un informe sobre los beneficios para los agricultores, las ventajas y desventajas, y las recomendaciones para la estrategia de manejo de malezas mediante la técnica de ocultación.*

Solarización y biosolarización del suelo. 2022. Por Martin Guerena. Centro Nacional de Tecnología Apropiada (ATTRA), Programa de Agricultura Sostenible.
*Una hoja informativa sobre cómo utilizar la solarización para controlar las malezas y las plagas en el suelo.*

El tratamiento con vapor del suelo para el control de patógenos, plagas y malezas en túneles altos. 2022. Por Andy Pressman y Chris Lent. Centro Nacional de Tecnología Apropiada (ATTRA), Programa de Agricultura Sostenible.
*Un blog que presenta un estudio de caso con Bruce y Jeeny Wooster, de Picadilly Farm, en New Hampshire. Hablan sobre el método de tratamiento con vapor del suelo que utilizan para el control de plagas en sus túneles altos.*

Base de datos sobre el control sostenible de plagas y malezas. 2023. Elaborada por el Centro Nacional de Tecnología Apropiada (ATTRA), Programa de Agricultura Sostenible.
*Una herramienta fácil de usar para los agricultores que buscan opciones de control de plagas que, en general, sean menos agresivas para el medio ambiente y los organismos beneficiosos.*

### *Aspectos económicos de la producción en invernadero*

Evaluación de la viabilidad económica de la producción de alto valor en invernaderos. 2011. Informefinal del proyecto SARE FW11-043.
*Este es el informe final de un proyecto en el que se utilizó un invernadero con calefacción y refrigeración térmicas para cultivar tomates cherry fuera de temporada, como cultivo de alto valor, y se analizó si la rentabilidad justificaba la inversión.*

Guía de cultivos de hortalizas en invernadero. Sin fecha. Guía de horticultura para pequeñas superficies de Texas A&M.
*Ofrece un análisis económico muy sencillo de las hortalizas de invernadero.*

Por Lane Greer y
Steve Diver, especialistas
en agricultura del NCAT
Publicado originalmente
en 2000
Actualizado en agosto de
2026 por
Tammy Howard y
Chris Lent, especialistas
en Agricultura del NCAT
Traducido al español
por Omar Rodriguez
Amy Smith, Producción
©NCAT
SP078
versión: 092826

Esta traducción cuenta con el apoyo del Programa de Asociación para la Transición a la Producción Orgánica (TOPP, por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). TOPP es un programa de la Iniciativa de Transición a la Producción Orgánica del USDA y es administrado por el Programa Nacional Orgánico (NOP) del Servicio de Comercialización Agrícola (AMS) del USDA. El sitio web de TOPP es organictransition.org.

CENTER *for* RURAL AFFAIRS

United States Department of Agriculture
Agricultural Marketing Service
National Organic Program
Transition to Organic Partnership Program

USDA ORGANIC

Esta publicación fue posible, en parte, gracias a fondos del Center for Rural Affairs (cfra.org).

También cuenta con financiación parcial de ATTRA, a través de un acuerdo de cooperación con el USDA-RBS.