



National Institute of Food and Agriculture
U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE



SERVICIO
DE EXTENSIÓN
AGRÍCOLA
UPR • RUW • CCA

PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

Manejo integrado de plagas y enfermedades en túneles de cultivo (*high tunnels*) en Puerto Rico



Agro. Gustavo A. Rodríguez, MSc.

Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez
Colegio de Ciencias Agrícolas
Servicio de Extensión Agrícola

Autor:

Agro. Gustavo A. Rodríguez, MSc.
Servicio de Extensión Agrícola
Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez

Editor:

Profa. Wanda Almodóvar, MSc., Especialista en
Fitopatología, Servicio de Extensión Agrícola,
Universidad de Puerto Rico,
Recinto Universitario de Mayagüez.

Revisión técnica:

Profa. Ermita Hernández, PhD., Especialista en
Hortalizas, Servicio de Extensión Agrícola,
Universidad de Puerto Rico,
Recinto Universitario de Mayagüez.

Profa. Edda Martínez, PhD., Especialista en
Entomología, Servicio de Extensión Agrícola,
Universidad de Puerto Rico,
Recinto Universitario de Mayagüez.

Profa. Ivelisse M. Ramos López, PhD.,
Departamento de Ingeniería Agrícola y Biosistemas
Servicio de Extensión Agrícola
Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez

Fotos de portada: *Farmhelp.*

Foto de contraportada:
Ecofinca, Vega Alta, Puerto Rico.

Notas:

Esta publicación ha sido desarrollada con el apoyo del programa **Crop Protection and Pest Management – Extension Implementation Program**, subvención núm. 2024-70006-43683, proyecto *IPM Programs for PR & USVI*, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Instituto Nacional de Alimentos y Agricultura (USDA-NIFA). Cualquier opinión, hallazgo, conclusión o recomendación expresada en esta publicación es responsabilidad del autor y no necesariamente representa la posición oficial del USDA o del Gobierno de los Estados Unidos.

La mención de marcas comerciales no constituye un endoso por parte del Servicio de Extensión Agrícola ni de la Universidad de Puerto Rico.

La información sobre el uso y manejo de plaguicidas debe verificarse exclusivamente en la etiqueta de cada producto. Es responsabilidad del agricultor leerla y seguirla correctamente. El Servicio de Extensión Agrícola y la Universidad de Puerto Rico no asumen responsabilidad por el uso indebido o incorrecto de los productos mencionados en esta publicación.

El agricultor es responsable de cumplir con todas las regulaciones aplicables, incluyendo aquellas relacionadas con el uso de plaguicidas y la certificación de agricultura orgánica.



**SERVICIO
DE EXTENSIÓN
AGRICOLA**
UPR • RUM • CCA

El Colegio de Ciencias Agrícolas del Recinto Universitario de Mayagüez (CCA-RUM) es un Patrono con Igualdad de Oportunidades en el Empleo.

M/F/V/I • The College of Agricultural Sciences of the University of Puerto Rico, Mayagüez Campus (CCA-RUM), is an Equal Opportunity Employer - M/F/V/I

Tabla de Contenido

Introducción	4
Manejo del calor en túneles de cultivo en zonas tropicales.....	5
Manejo del suelo para la reducción de enfermedades.....	9
Manejo del riego para prevención de enfermedades en túneles de cultivo	13
Cultivares de hortalizas para túneles de cultivo en ambientes tropicales	16
Rotación de cultivos para la reducción de plagas y enfermedades	20
Manejo integrado de plagas en túneles de cultivo.....	26
Prevención de enfermedades en túneles de cultivo	38
Manejo integrado de nematodos en suelos bajo túneles.....	44
Referencias.....	47

Introducción

Los túneles de cultivo o *high tunnels* son estructuras agrícolas cubiertas con plástico en las cuales los cultivos se siembran directamente en el suelo y se utiliza ventilación pasiva para modificar el microclima del cultivo (Lamont, 2009). En climas tropicales como Puerto Rico, donde las bajas temperaturas no limitan la producción agrícola, los túneles de cultivo se utilizan principalmente para reducir los efectos negativos de la lluvia, la radiación solar excesiva y los vientos fuertes (Janke et al., 2017) (Figura 1).



Figura 1. Túneles de cultivo en ambiente tropical. Foto por Proyecto Agroecológico El Josco Bravo, Toa Alta, Puerto Rico.

En Puerto Rico y las Islas Vírgenes Americanas, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, a través del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés), ha incentivado la construcción de más de 200 túneles de cultivo en fincas agrícolas (Natural Resources Conservation Service, 2023). Durante visitas de campo realizadas por especialistas del Servicio de Extensión Agrícola, se estimó que aproximadamente la mitad de los túneles de cultivo visitados se encontraba en desuso. Según los agricultores, la razón principal para abandonar estas estructuras fueron problemas relacionados con la producción de los cultivos.

Este documento presenta estrategias hortícolas y prácticas de manejo integrado de plagas (IPM, por sus siglas en inglés) dirigidas a reducir las poblaciones de plagas y enfermedades en túneles de cultivo en regiones tropicales como Puerto Rico.

Manejo del calor en túneles de cultivo en zonas tropicales

Los túneles de cultivo en zonas cálidas y húmedas como Puerto Rico protegen los cultivos de lluvias intensas, vientos fuertes y radiación solar elevada. Además, pueden contribuir a reducir poblaciones de plagas y enfermedades (McCartney & Lefsrud, 2018). Sin embargo, para obtener estos beneficios, es fundamental manejar adecuadamente las altas temperaturas dentro de los túneles. En climas tropicales, el diseño y manejo del túnel deben enfocarse en facilitar la ventilación natural y evitar la acumulación de calor. Temperaturas excesivas pueden causar estrés en las plantas y agravar problemas de plagas y enfermedades. Por esta razón, se recomienda implementar medidas específicas para reducir la temperatura en todas las etapas del diseño y manejo del túnel.

Tipos de túneles de cultivo para ambientes tropicales

Los túneles de estilo tropical, que poseen una ventana cenital en la parte superior para permitir la salida del aire caliente, son los más apropiados para optimizar el manejo de la temperatura interior (Baudoin et al., 2002; Mohammed Seif Al-Shamiry et al., 2006; von Zabeltitz, 2011) (Figura 2). Estas estructuras son especialmente útiles para zonas como Puerto Rico, donde la temperatura máxima promedio supera los 80 °F (Baudoin et al., 2002).



Figura 2. Túnel de cultivo de estilo tropical.
Foto por Finca Jevana, Cidra, Puerto Rico.

Para lograr una ventilación eficiente, el área de la ventana cenital debe ser equivalente al 20 % de la huella del túnel (DeGannes et al., 2014). Por otro lado, los túneles tipo arco no permiten la salida del aire caliente a través de la parte superior; sin embargo, son comúnmente utilizados en Puerto Rico debido a su facilidad de construcción y menor costo.

Ubicación y orientación del túnel para una ventilación eficiente

Los túneles de cultivo deben ubicarse en áreas de la finca con suelo fértil y sin obstáculos que proyecten sombra sobre la estructura, como árboles o edificaciones. Para reducir la acumulación de calor y humedad, es importante instalar el túnel en un área donde la ventilación natural no esté limitada.

Los túneles deben orientarse de forma perpendicular a los vientos predominantes de la finca para facilitar la entrada de aire por los laterales. En el caso de los túneles de estilo tropical, la ventana cenital debe ubicarse a sotavento de la dirección predominante del viento, de modo que el aire caliente pueda salir con mayor facilidad (Figura 3).

Para conocer la dirección predominante del viento en su finca, puede utilizar herramientas digitales como: <https://globalwindatlas.info/en/>

Laterales del túnel: altura y cubiertas para zonas tropicales

En zonas tropicales se recomiendan túneles con suficiente altura, ya que un mayor volumen de aire dentro de la estructura tarda más en calentarse. Para mantener temperaturas más estables, se recomienda construir estructuras con una altura de laterales entre 8 y 14 pies y una altura central entre 12 y 18 pies (Comas et al., 2021; DeGannes et al., 2014).

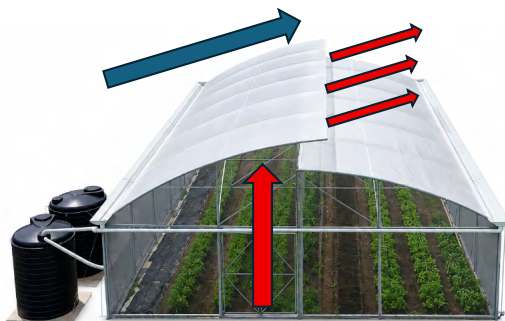


Figura 3. Movimiento del aire caliente (flechas rojas) asistido por corriente de aire fresco (flechas azules) dentro del túnel de cultivo de estilo tropical.

Para favorecer una ventilación natural eficiente, los laterales del túnel pueden manejarse de las siguientes formas:

- ✓ **Laterales completamente abiertos**, para máxima ventilación.
- ✓ **Laterales enrollables o movibles**, que permitan ajustar la ventilación según las condiciones climáticas.
- ✓ **Uso de mallas de alta porosidad**, como sarán o tela metálica de aluminio, que permitan el flujo de aire.

Se debe evitar el uso de materiales que reduzcan significativamente la ventilación, como mallas antiinsectos o antivirales de alta densidad. Estas son más apropiadas para estructuras con ventilación forzada mediante abanicos o extractores.

Canaletas de recolección de agua

Las canaletas para la recolección de agua de lluvia ofrecen dos beneficios importantes en los túneles de cultivo:

1. **Reducen la salpicadura de agua y suelo** hacia las plantas durante eventos de lluvia, lo que puede disminuir la dispersión de patógenos.
2. **Permiten recolectar y almacenar agua de lluvia**, la

cual puede utilizarse posteriormente para el riego del cultivo.

Plásticos de cubierta para el trópico

Los plásticos agrícolas de alta calidad ayudan a reducir los efectos de lluvias intensas, mejorar la distribución de la luz y, en algunos casos, disminuir la temperatura dentro de la estructura. Las principales características recomendadas para plásticos de cubierta en el trópico se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades de los plásticos agrícolas de alta calidad para zonas tropicales (Odesola et al., 2012; von Zabeltitz, 2011).

Propiedad del plástico	Beneficio agrícola
Alta transmisión de luz visible y de luz fotosintéticamente activa (400–700 nm)	Importante para el desarrollo del cultivo
Reducción de rayos ultravioleta	Reduce la entrada y dispersión de insectos plaga
Baja transmisión de radiación infrarroja*	Ayuda a reducir el calor sin afectar la luz fotosintéticamente activa
Capacidad de difusión de la luz	Disminuye el riesgo de quemaduras en el tejido vegetal y mejora la distribución de la luz en el cultivo
Tecnología antipolvo	Reduce la pérdida de transmisión de luz causada por la acumulación de polvo en el plástico
Tecnología antigoteo	Reduce la acumulación de gotas en la parte interna del plástico y la caída de agua sobre el cultivo

Nota: La baja transmisión de radiación infrarroja no es común en plásticos disponibles en el mercado. Tabla desarrollada con información de Odesola, I. F., Ezekwem, & Chidozie. (2012). The Effect of Shape and Orientation on a Greenhouse: A Review. AFRREV STECH, 1(1). www.afrevjo.net/afrevstech y von Zabeltitz, C. (2011). Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates. Springer Heidelberg Dordrecht London New York

Manejo del suelo para la reducción de enfermedades

Drenajes para manejo de escorrentías

La entrada de escorrentías provenientes de predios aledaños puede transportar inóculos de enfermedades y provocar encharcamientos dentro de la estructura. Si existe la posibilidad de que el agua de escorrentía entre al área de siembra, se recomienda construir drenajes tipo francés que conduzcan el agua hacia áreas no cultivadas.

Para que el drenaje funcione correctamente, es importante mantener una pendiente aproximada de 1 %, equivalente a una pulgada de caída por cada 8 pies de drenaje, lo que permite un flujo eficiente del agua (Figura 4).

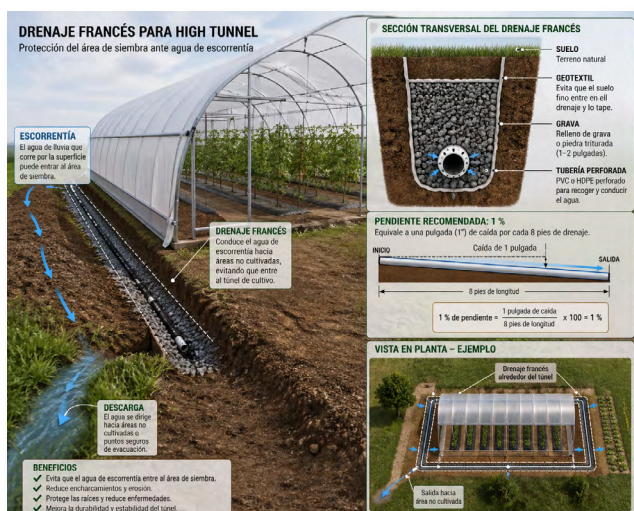


Figura 4. Diagrama de drenaje francés para el manejo de escorrentías en túneles de cultivo. Diagrama creado utilizando inteligencia artificial.

Solarización y biosolarización: desinfección natural del suelo

La **solarización** es una técnica no química utilizada para desinfectar el suelo, que consiste en aprovechar la radiación solar para elevar su temperatura y reducir poblaciones de patógenos, nematodos y semillas de malezas (Figura 5). Esta técnica es más efectiva durante los meses más cálidos y soleados del año, como el verano en Puerto Rico.

Proceso de solarización:

1. Humedecer previamente los bancos de siembra o el suelo del túnel.
2. Cubrir el suelo con plástico de polietileno transparente, asegurando los bordes para evitar la pérdida de calor.
3. Mantener el suelo cubierto durante varias semanas para permitir la acumulación de calor.

Estudios indican que, bajo condiciones adecuadas, se pueden alcanzar temperaturas del suelo superiores a 98 °F, logrando una solarización efectiva en un periodo de 4 a 6 semanas. Esto permite reducir poblaciones de patógenos como *Fusarium spp.*, *Verticillium spp.* y *Phytophthora spp.*, así como nematodos. En algunos casos, se pueden alcanzar temperaturas superiores a 122 °F, lo que reduce el tiempo necesario a aproximadamente una semana (Hanson et al., 2014).

Proceso de biosolarización:

1. Incorporar materia orgánica, como composta o plantas cobertoras, antes de cubrir el suelo con plástico de polietileno.

2. Durante el proceso, los microorganismos presentes en el suelo liberan metabolitos que ayudan a suprimir plagas, enfermedades y semillas de malezas en periodos menores a 10 días (Guerena, 2019).

Es importante considerar que estos procesos pueden reducir las poblaciones de microorganismos nativos del suelo. Por esta razón, se recomienda reintroducir microorganismos beneficiosos, como *Bacillus* spp., *Trichoderma harzianum* y micorrizas, una vez finalizado el proceso. Una estrategia recomendable es realizar la solarización o biosolarización durante los meses de verano, lo que permite preparar el terreno para establecer cultivos en otoño, cuando las condiciones climáticas son más favorables para la producción.



Figura 5. Solarización dentro de un túnel de cultivo. Imagen generada con inteligencia artificial.

Enmiendas orgánicas para el manejo integrado de plagas y enfermedades

La incorporación de composta de origen animal o vegetal al suelo del túnel de cultivo puede contribuir significativamente al manejo integrado de plagas y enfermedades. Entre sus principales beneficios se encuentran:

- ✓ **Mejora la salud del suelo:** Favorece una mejor estructura del suelo, aumentando la infiltración y retención de agua, así como el desarrollo radicular. Esto permite que las plantas sean más vigorosas y toleren mejor el ataque de plagas y enfermedades.
- ✓ **Aumenta los microorganismos benéficos:** Promueve la diversidad de microorganismos que ayudan a reducir la presencia de organismos patógenos.
- ✓ **Libera nutrientes de forma gradual:** Aporta nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio de manera lenta y continua, favoreciendo un crecimiento más balanceado de las plantas (Figura 6).
- ✓ **Reduce el estrés de los cultivos:** Los suelos enmendados con composta retienen mejor la humedad y son más resilientes a cambios ambientales, lo que contribuye a mantener plantas más saludables y menos susceptibles a plagas y enfermedades.

Para determinar la cantidad adecuada de composta para su predio, se recomienda consultar con su agente agrícola del Servicio de Extensión Agrícola de la Universidad de Puerto Rico.



Figura 6. Agricultores a pequeña escala utilizan comúnmente compostas como fuente de nutrición para sus cultivos. Foto por Proyecto Agroecológico El Josco Bravo, Toa Alta, Puerto Rico.

Manejo del riego para prevención de enfermedades en túneles de cultivo

Un diseño adecuado y un manejo eficiente del sistema de riego son fundamentales para la producción en túneles de cultivo, ya que influyen directamente en la calidad y sanidad del cultivo. Un manejo inadecuado del riego puede favorecer el desarrollo de enfermedades causadas por hongos y bacterias, así como el establecimiento de algunas plagas, como la mosquita de los hongos (*fungus gnats*). El exceso de humedad en el suelo o sobre las hojas crea condiciones favorables para la proliferación de enfermedades (Gareth Jones, 1998; Rowlandson et al., 2015).

El objetivo principal del manejo del riego es suplir agua en cantidades que satisfagan las necesidades del cultivo sin provocar encharcamientos ni irrigar áreas no productivas. En este sentido, se recomienda el uso de sistemas de riego por goteo, ya que permiten aplicar el agua de forma localizada y eficiente. Desde la perspectiva del manejo integrado de plagas y enfermedades, este sistema ofrece varias ventajas:

1. **Reduce el contacto del agua con las hojas:** Minimiza la presencia de gotas en el follaje, lo que disminuye el riesgo de infección por patógenos.
2. **Disminuye la humedad en áreas no productivas:** Evita el exceso de humedad en pasillos y zonas sin cultivo, reduciendo la proliferación de enfermedades y la germinación de malezas.
3. **Facilita la fertirrigación y aplicaciones dirigidas:** Permite aplicar fertilizantes, plaguicidas y bioestimulantes directamente en la zona radicular.

El manejo del riego en túneles de cultivo es más complejo que en campo abierto, ya que estas estructuras limitan la entrada de lluvia y modifican la temperatura y la humedad, lo que afecta la demanda de agua del cultivo. Por esta razón, se recomienda basar el riego en mediciones de la humedad del suelo y no únicamente en la observación o en la experiencia previa.

El **tensiómetro** es una herramienta económica que indica cuánta agua está disponible en el suelo para las plantas (Figura 7). Mantener las lecturas dentro del rango adecuado permite ajustar con mayor precisión la frecuencia y duración del riego (Tabla 2). Para más detalles, consulte el manual **“Uso eficiente de agua de riego en fincas de hortalizas y otros cultivos”** (Rodríguez et al., 2023).

Tabla 2. Lecturas de tensiómetro para la toma de decisiones de riego (Comas Pagán et al., 2021; Goyal, 2012).

Medida del tensiómetro	Rango	Nota	Acción por tomar
0 a 10 cb	Saturación del suelo	Puede ocurrir luego de lluvias fuertes o riegos excesivos.	No aplique riego
10 a 20 cb	Capacidad de campo	Aplicar más agua puede causar pérdida de agua y nutrientes.	No aplique riego
20 a 60 cb	Agua útil para las plantas	En este rango el agua está disponible para el cultivo.	Comience el riego cuando la lectura llegue a 40 cb en suelos francos y 50 cb en suelos arcillosos
Más de 60 cb	Falta de agua	En este rango puede comenzar el estrés hídrico en las plantas.	Aplique riego lo antes posible

Información adaptada de Comas Pagán, M., Eric Irizarry Otaño, Bair Gallegos, D., Hernández Heredia, E., Alvarado Ortiz, A., & Almodóvar Caraballo, W. (2021). *Sistemas de túneles: Guía para la construcción, manejo y producción sustentable de cultivos*. Servicio de Extensión Agrícola y Goyal, M. R. (2012). *Management of Drip/Trickle or Micro Irrigation* (1st ed.). Apple Academic Press Inc.



Figura 7. Tensiómetro utilizado para medir la disponibilidad de agua en el suelo. Foto por Filiberto Troche.

Cultivares de hortalizas para túneles de cultivo en ambientes tropicales

Existen cultivares de hortalizas que han sido evaluados y seleccionados por su buen desempeño en condiciones típicas de túneles de cultivo en ambientes tropicales. Estos cultivares suelen ser tolerantes al calor y presentan resistencia a enfermedades comunes en este tipo de sistema de producción. En la **Tabla 3** se presentan cultivares tolerantes a altas temperaturas, algunos de los cuales han sido evaluados exitosamente en túneles de cultivo por la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico.

Tabla 3. Cultivares tolerantes a altas temperaturas y/o evaluados en túneles de cultivo en Puerto Rico (Comas Pagán et al., 2021).

Cultivo	Cultivares	Características
Tomate tipo 'Cherry'	- Clementine F1*, Favorita F1, Sakura F1, Apero F1, Godi F1 → <i>Crecimiento indeterminado</i> - BHN 968, BHN 268, BHN 785 → <i>Crecimiento determinado</i>	
Tomate tipo "Grape" (Figura 8)	Grape 6721	Crecimiento indeterminado
Berenjena	Angela F1, Dancer F1	Crecimiento indeterminado
Berenjenas locales	Rosaita, Rayada (polinización abierta)	Crecimiento indeterminado
Pepinillo	Poniente F1, Sócrates F1, Excelsior, Mercury	Cultivares partenocárpicos (sin semillas), incluyendo variedades tolerantes al añublo polvoriento y a virus.
Pimientos dulces	Lunchbox Orange*, Lunchbox Red*	Variedades miniatura

Soya oriental “Edamame”	Biei, Tohya	Variedades tempranas
Acelga “Swiss Chard”	Fordhook Giant, Silverado, Lucullus, Bright Lights, Fire Fresh “baby”	Buena tolerancia al calor; apta para producción continua
Lechuga de cabeza	Iceberg: Crispino, Caretaker y Reina. Butterhead: Red Cross y Adriana Batavia: Cherokee y Magenta	Variedades adaptadas a temperaturas cálidas
Lechuga de hojas	Romana: Sparx y Super Jericho. Loose leaf: Oso Verde, Tropicana y Green Star	Variedades adaptadas a temperaturas cálidas
Cebollines “Bunching onions”	Tokyo Long White, Evergreen White Nebuka, White Spear	Adaptados a clima tropical; crecimiento vigoroso
Col rizada “Kale”	Blue Ridge, Toscano	
Recao/Culantro	No hay cultivares desarrollados	
Cilantro	Slo-Bolt, Sunmaster, Calypso, Santo, Cruiser	Variedades tolerantes a días largos y altas temperaturas
Repollo	Madurez temprana (60 días): Fast Vantage Madurez media (70–80 días): Blue Vantage, Cheers, O-S Cross, Clarissa Madurez tardía (85–100 días): Green Boy, Passat YR, Astrus Plus	
Bok Choy “Pac Choi”*	Mei Quing Choi, Joi Choi, Chinese Pac Choi	
Brócoli	Green Magic, Corato, Eastern Crown	Variedades tolerantes a altas temperaturas no evaluadas en Puerto Rico

* Cultivar evaluado en túnel de cultivo en Puerto Rico

Información adaptada de la publicación Comas Pagán, M., Eric Irizarry Otaño, Bair Gallegos, D., Hernández Heredia, E., Alvarado Ortiz, A., & Almodóvar Caraballo, W. (2021). *Sistemas de túneles: Guía para la construcción, manejo y producción sustentable de cultivos*. Servicio de Extensión Agrícola.



Figura 8. Tomates tipo “grape” producidos en túnel de cultivo.
Foto por Ecofinca, Vega Alta, Puerto Rico.

Prácticas culturales comunes en hortalizas producidas en túneles

Para lograr una reducción en las poblaciones de plagas y enfermedades, así como una producción de alta calidad en túneles de cultivo, algunas hortalizas requieren prácticas culturales específicas. A continuación, se presentan prácticas recomendadas (Tabla 4).

Tabla 4. Prácticas culturales para el manejo de hortalizas en túneles de cultivo

Cultivo	Práctica cultural	Descripción técnica	Beneficios principales	Referencias/Info. adicional
Tomate	Soporte (cultivares indeterminados)	Uso de hilos verticales sostenidos por postes o cables a una altura de 8–12 pies	↑ aireación ↑ luz ↓ pérdida de frutos	(Ivy, 2014; Sideman, 2026)
	Soporte (cultivares determinados)	Sistema “basket weave” con estacas e hilos laterales	↑ manejo ↓ daño mecánico	
	Poda / deschuponado	Dejar 1–2 tallos líderes; remoción de brotes axilares (chupones)	↑ estructura ↑ ventilación	
Pepinillo	Soporte (sistema de espaldera – trellis)	Malla donde la planta crece sin poda	↑ facilidad de manejo	(Sánchez, 2025)
	Soporte (hilo vertical)	Planta guiada a un hilo; requiere poda y sujetar con “clips”	↑ luz ↑ aireación	Figura 9
Pimiento	Soporte	Sistema “basket weave” o hilos verticales	↓ volcamiento ↑ manejo	(Johnny’s Selected Seeds, 2016)
	Poda	Poda en “Y”; eliminación de flor de horqueta; remoción de hojas viejas	↑ aireación ↓ pérdida de frutos	
Recao	Sombra	Uso de malla de sombra (47–73 %)	↑ desarrollo foliar	(Rodríguez, 2025)
	Remoción de flores	Remoción continua de espigas florales	↑ desarrollo foliar	



Figura 9. Pepinillos con sistema de soporte de hilos en túnel de cultivo. Foto por Universidad de Puerto Rico.

Rotación de cultivos para la reducción de plagas y enfermedades

La rotación de cultivos consiste en alternar diferentes cultivos en un mismo predio a lo largo del tiempo. Sus principales objetivos son interrumpir el ciclo de vida de las plagas, prevenir la acumulación de patógenos en el suelo y mejorar la salud del suelo.

Uno de los principales retos de la producción en túneles de cultivo es la limitada disponibilidad de espacio para realizar rotaciones. La siembra continua de los mismos cultivos dentro del túnel puede agravar diversos problemas, como:

- ✓ **Aumento de enfermedades del suelo**, incluyendo *Sclerotinia sclerotiorum*, *Pseudoperonospora spp.* (añublo lanoso), pudriciones por *Phytophthora spp.*, tizón sureño (*Sclerotium rolfsii*), *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum*.

- ✓ **Incremento en poblaciones de plagas**, especialmente aquellas que completan parte de su ciclo de vida en el suelo, como trípidos, orugas y pulguillas (*flea beetles*).
- ✓ **Mayor incidencia de nematodos fitoparásitos.**

Estrategias para implementar la rotación de cultivos

Una rotación efectiva en túneles de cultivo puede diseñarse utilizando las siguientes estrategias:

1. **Evitar sembrar más de dos ciclos consecutivos de cultivos de la misma familia botánica**, considerando los beneficios y limitaciones de cada grupo (Tabla 5).
2. **Evitar la siembra consecutiva de cultivos que compartan plagas o enfermedades similares.**
Por ejemplo:
 - Nematodos noduladores en solanáceas y zanahoria
 - Mosca blanca en solanáceas y cucurbitáceas
3. **Incluir cultivos o plantas cobertoras fijadoras de nitrógeno**, como habichuelas, mucuna o caupí, para mejorar la fertilidad del suelo.
4. **Incorporar periodos de descanso (barbecho)** dentro del plan de siembra para reducir la presión de plagas y enfermedades.

Tabla 5. Beneficios y limitaciones de familias botánicas en rotación de cultivos (Agehara et al., 2026).

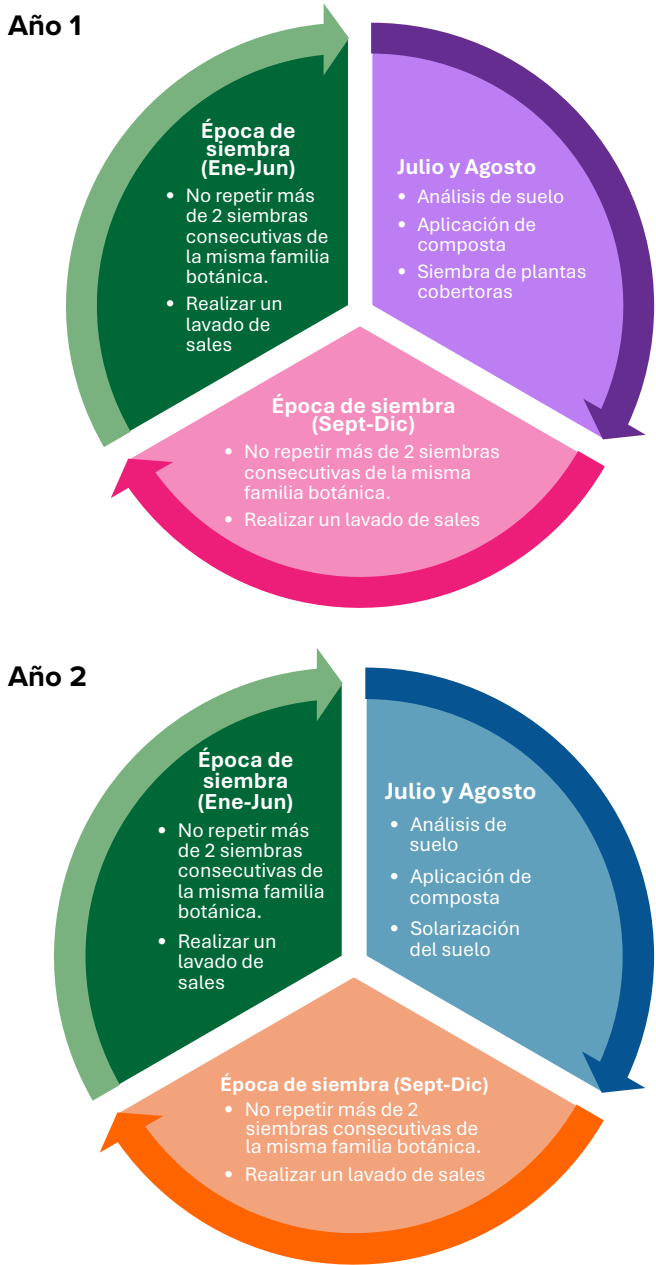
Familia botánica	Cultivos comunes en Puerto Rico	Beneficios para la rotación	Principales plagas, enfermedades o limitaciones
Solanáceas	Tomate, pimientos, ají dulce, berenjena	• Raíces profundas que mejoran la estructura del suelo • Alta producción de residuos vegetales	• Mosca blanca • Trípidos • Mancha bacteriana (<i>Xanthomonas</i> spp.) • Tizón temprano (<i>Alternaria solani</i>) • Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>) • Nematodos noduladores
Cucurbitáceas	Pepinillo, calabacín	• Sistema radicular superficial que complementa cultivos de raíz profunda	• Añublo lanoso y añublo polvoriento • Mosca blanca, trípidos y áfidos (vectores de virus) • Alta susceptibilidad a enfermedades del suelo
Leguminosas	Habichuelas, habichuelas tiernas, gandul, soya (edamame)	• Fijación biológica de nitrógeno (simbiosis con <i>Rhizobium</i>) • Mejora la disponibilidad de N para el cultivo siguiente	• Minador de la hoja (<i>Liriomyza</i> spp.) • Royas y antracnosis • Nematodos
Crucíferas	Repollo, brócoli, coliflor, col rizada (kale), mostaza, rúcula (arugula)	• Potencial biofumigante del suelo • Interrumpe ciclos de plagas de solanáceas y leguminosas	• Oruga dorso de diamante (<i>Plutella xylostella</i>) • Áfidos • Pudrición negra (<i>Xanthomonas campestris</i>)

Asteraceae	Lechuga, escarola, endivia	• Cultivos de ciclo corto que facilitan rotaciones flexibles	• Áfidos • Añublo lanoso • Pudrición por <i>Sclerotinia</i>
Amaranthaceae	Espinaca, remolacha, acelga	• Demanda nutricional moderada	• Minadores de la hoja • Mancha foliar por <i>Cercospora</i> • Sensibilidad a salinidad (espinaca y remolacha)
Apiaceae	Zanahoria, apio, perejil, cilantrillo y recaó	• Raíces pivotantes (zanahoria) ayudan a reducir la compactación del suelo	• Tizones foliares (<i>Alternaria</i>, <i>Cercospora</i>) • Pudrición negra del recaó (<i>Xanthomonas campestris</i>) • Nematodo nodulador (zanahoria y recaó) • Áfidos (cilantrillo)
Aliáceas	Cebolla, cebollín, puerro	• No son hospederos de muchos patógenos del suelo ni nematodos comunes en hortalizas	• Trípidos

Tabla desarrollada con información de Agehara, S., Bryant, T., & Boyd, N. (2026). *Vegetable Production Handbook of Florida*. <https://sfyl.ifas.ufl.edu/bradford>

A continuación, se presenta un ejemplo de rotación de cultivos y prácticas agrícolas para un túnel de cultivo en ambiente tropical (Figura 10).

Figura 10. Ejemplo de rotación de cultivos para túneles de cultivo en ambiente tropical



Barbecho en los túneles de cultivo

El barbecho, o dejar en descanso el predio durante un periodo determinado, es una práctica que puede ayudar a reducir poblaciones de plagas y patógenos del suelo al interrumpir su ciclo de vida.

Debido a que el suelo dentro de los túneles de cultivo no recibe lluvia directa, su manejo durante el barbecho debe ser distinto al de un predio al aire libre. Si decide dejar el túnel en descanso, se recomienda:

- **Remover o incorporar los residuos del cultivo anterior**, ya que pueden servir como hospedero para plagas y patógenos.
- **Mantener el suelo ligeramente húmedo**, para conservar las poblaciones de microorganismos y macroorganismos benéficos.
- **Aprovechar el periodo de descanso** para realizar prácticas como lavado de sales, solarización, incorporación de composta e inoculación con microorganismos beneficiosos (Figura 11).



Figura 11. Acumulación de sales en suelo de túnel de cultivo. El barbecho puede aprovecharse para realizar lavados de sales. Foto por Agro. Gustavo A. Rodríguez, MSc. Universidad de Puerto Rico.

Algunos documentos presentan a los túneles de cultivo como una herramienta útil para reducir las poblaciones de plagas (Carey et al., 2009; Ted & Frisch, 2007). Sin embargo, diversos estudios indican que, en ciertos casos, las poblaciones de plagas dentro de los túneles pueden superar las observadas en cultivos a campo abierto (Ingwell et al., 2017). Por esta razón, los agricultores deben manejar las plagas en túneles con especial atención, utilizando estrategias integradas y bien planificadas.

Monitoreo de plagas

La detección temprana de plagas es fundamental para el manejo efectivo del cultivo. Identificar las plagas a tiempo permite:

- ✓ **Aplicar controles más efectivos**
- ✓ **Utilizar productos de menor toxicidad**
- ✓ **Reducir pérdidas económicas**

Para lograrlo, es importante establecer un programa de monitoreo regular enfocado en las plagas de mayor importancia económica (Figura 12).

Figura 12. Estrategias de monitoreo en cultivos hortícolas (Sánchez et al., 2026).

Conteos manuales	Muestrear al azar: • 5 plantas por cada 100 pies de hilera (cultivos de fruto) • 10 plantas por cada 100 pies de hilera (cultivos de hoja) • Evaluar brotes, flores y el envés de hojas jóvenes • Utilizar lupa (20–30×) • Realizar muestreos al menos 2 veces por semana
Trampas cromáticas	• Utilizar trampas pegajosas amarillas o azules • Efectivas para: trips, minadores, áfidos y mosca blanca • Revisar 2 veces por semana • Reemplazar semanalmente
Trampas de feromonas	Útiles para detección temprana de: • Picudo del pimiento • Orugas (<i>Helicoverpa zea</i>, <i>Spodoptera frugiperda</i>) • Revisar 2 veces por semana

Plagas comunes en túneles de cultivo en Puerto Rico

A continuación, se describen algunas de las plagas más importantes:

Trípidos de las flores (*Frankliniella* spp.) (Figura 13)

Plaga común en cultivos como pimiento, tomate, berenjena y habichuela. Se localizan principalmente en flores y brotes tiernos, donde raspan y succionan tejidos, causando plateado, deformaciones y cicatrices en los frutos. Además, pueden transmitir virus como el *Tomato Spotted Wilt Virus*. Las pupas generalmente se desarrollan en el suelo o en residuos vegetales.

Trípido de la cebolla y trípido del melón (*Thrips tabaci* y *Thrips palmi*) (Figura 14)

Afectan cultivos como cebolla, pimiento, pepinillo, melón, berenjena y habichuela. Se alimentan de hojas jóvenes y flores, causando plateado, deformaciones y reducción del crecimiento. *Thrips palmi* puede transmitir virus. Parte de su ciclo de vida ocurre en el suelo.



Figura 13. Trípidos de las flores (*Frankliniella occidentalis*). Foto por David Cappaert, Bugwood.org



Figura 14. Daño severo causado por ataque de trípidos en pepinillo. Foto por Agro. Gustavo A. Rodríguez, Universidad de Puerto Rico.

***Thrips parvispinus* (Figura 15)**

Plaga invasiva de gran importancia en Puerto Rico, especialmente en pimiento, ají dulce y berenjena. Se encuentra en hojas tiernas, brotes y flores, causando deformaciones severas, cicatrices en los frutos y aborto floral. Las pupas suelen encontrarse en el suelo o debajo de residuos vegetales.

Mosca blanca (*Bemisia spp.* y *Trialeurodes vaporariorum*) (Figuras 16 y 17)

Ataca cultivos como tomate, pimiento, berenjena, habichuela y cucurbitáceas. Se localiza principalmente en el envés de las hojas, donde succiona savia y favorece el crecimiento de fumagina. Además, transmite varios virus importantes. Altas infestaciones reducen el vigor y el rendimiento del cultivo.

Ácaro ancho tropical (*Polyphagotarsonemus latus*) (Figura 18)

Afecta principalmente pimiento y ají dulce. Se encuentra en brotes tiernos y hojas jóvenes, causando enrollamiento y deformación severa del follaje y frutos. Prefiere ambientes cálidos y húmedos.



Figura 15. Deformación severa de frutos causada por *Thrips parvispinus* en pimiento cultivado en túnel de cultivo. Foto por Edda Martínez, Universidad de Puerto Rico.



Figura 16 y 17. Mosca blanca en cultivo de pimiento: adultos y ninfas (izquierda) e infestación severa (derecha). Fotos por Scott Bauer, USDA Agricultural Research Service, Bugwood.org (izquierda) y por Agro. Gustavo A. Rodríguez, Universidad de Puerto Rico (derecha).



Figura 18. Deformación de hojas causada por el ácaro ancho tropical (*Polyphagotarsonemus latus*) en pimiento cultivado en túnel de cultivo. Foto por Ermita Hernández, Universidad de Puerto Rico.

Ácaro rojo (*Tetranychus spp.*) (Figura 19)

Plaga frecuente en tomate, pimiento, habichuela y pepinillo. Se alimenta del envés de las hojas, causando bronceado, defoliación y, en infestaciones severas, formación de telarañas. Sus poblaciones aumentan rápidamente en condiciones secas y calurosas.



Figura 19. Ácaro rojo (*Tetranychus urticae*). Foto por Frank Peairs, Colorado State University, Bugwood.org

Picudo del pimiento (*Anthonomus eugenii*) (Figura 20)

Una de las plagas más destructivas del pimiento y ají dulce. Los adultos y larvas dañan botones florales y frutos pequeños, causando caída prematura y pérdida de producción. Las larvas se desarrollan dentro del fruto, por lo que gran parte del daño ocurre de forma interna.



Figura 20. Adulto del picudo del pimiento (*Anthonomus eugenii*) sobre botón floral. Foto por David Riley, University of Georgia, Bugwood.org.

Áfido verde del melocotón (*Myzus persicae*) (Figura 21)

Afecta cultivos como pimiento, tomate, lechuga, crucíferas y hierbas aromáticas. Se encuentra en brotes tiernos y en el envés de las hojas, donde succiona savia, produce mielecilla y favorece el desarrollo de fumagina. También es vector de numerosos virus. Sus poblaciones aumentan rápidamente en ambientes protegidos.



Figura 21. Áfido verde del melocotón (*Myzus persicae*). Foto por David Cappaert, Bugwood.org

Crisomélidos (Familia *Chrysomelidae*) (Figura 22)

Incluyen escarabajos que atacan habichuela, soya (edamame), cucurbitáceas y crucíferas. Tanto adultos como larvas mastican hojas, causando perforaciones y reducción del área foliar. Algunas especies también pueden dañar raíces o frutos.



Figura 22. Daño causado por crisomélidos en “bok choy” cultivado en túnel de cultivo. Foto por Irma Cabrera, Universidad de Puerto Rico.

Minador de hojas (*Liriomyza spp.*)

Plaga común en tomate, habichuela, pimiento y cultivos de hojas. Las larvas forman galerías dentro de las hojas, reduciendo la fotosíntesis y debilitando la planta. Las pupas se desarrollan generalmente en el suelo o dentro de las hojas.

Mosquita de los hongos (*Sciaridae*) (Figuras 23 y 24)

Frecuente en semilleros y suelos con alta humedad. Las larvas viven en el suelo o sustrato, donde se alimentan de raíces y materia orgánica, debilitando las plantas y favoreciendo enfermedades radiculares. Los adultos son insectos pequeños de color negro que vuelan cerca del suelo húmedo.



Figura 23 y 24. Mosquita de los hongos (*Sciaridae*): adulto (arriba) y larva (abajo). Fotos por David Cappaert, Bugwood.org.

Orugas del género *Spodoptera* (*Spodoptera spp.*)

Incluyen plagas como el “armyworm” y el gusano cogollero. Atacan pimiento, tomate, lechuga y otros cultivos, alimentándose de hojas, flores y frutos. Pueden causar defoliación severa y daños directos en la producción. Las pupas generalmente se forman en el suelo.

Gusano de la mazorca (*Helicoverpa zea*)

Plaga importante en tomate, pimiento, habichuela y otras hortalizas. Las larvas perforan flores y frutos, alimentándose internamente y causando pudriciones y pérdida de calidad comercial. Las pupas normalmente se desarrollan en el suelo.

Orugas medidoras (*Trichoplusia ni* y *Pseudaletia includens*) (Figura 25)

Orugas verdes que se desplazan arqueando el cuerpo. Atacan tomate, repollo, habichuela y otros cultivos, alimentándose de hojas y provocando perforaciones irregulares. En altas poblaciones pueden causar defoliación severa.



Figura 25. Oruga medidora (*Trichoplusia ni*) causando daño en cultivo de hoja. Foto por R.J. Reynolds Tobacco Company, Bugwood.org.

Umbral de acción para el control de plagas

Una de las decisiones más importantes es determinar cuándo aplicar un insecticida. Para esto se utilizan los **umbrales de acción**, que son niveles de población o daño a partir de los cuales se recomienda iniciar medidas de control.

Actualmente, no existen umbrales específicos desarrollados para túneles de cultivo en Puerto Rico, lo que dificulta la toma de decisiones. A continuación, se presentan umbrales desarrollados en Florida como referencia (Tablas 6 y 7). Estos deben utilizarse como guía y no como una regla estricta.

Tabla 6. Umbrales de acción para plagas comunes en tomate y pimiento* (Schuster, 2006).

Plaga	Cultivo	Procedimiento de muestreo	Umbral de acción
Áfidos (<i>Myzus persicae</i>)	Tomate, pimiento	Revisar el envés de 3 folíolos terminales en 1 de cada 6 plantas	$\geq 3-4$ áfidos por cada 3 folíolos terminales o ≥ 50 % de hojas infestadas
Trípido occidental de las flores (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Tomate, pimiento	Golpear flores sobre una superficie blanca y utilizar trampas cromáticas	≥ 0.5 adultos por flor en tomate; ≥ 3 individuos por flor en pimiento
Trípido del melón (<i>Thrips palmi</i>)	Pimiento	Revisar flores y hojas jóvenes; utilizar trampas cromáticas	≥ 3 individuos por flor
Picudo del pimiento (<i>Anthonomus eugenii</i>)	Pimiento	Colocar trampas amarillas con feromona y revisar yemas terminales	≥ 1 adulto por trampa o ≥ 1 adulto por cada 400 yemas
Ácaro ancho tropical (<i>Polyphagotarsonemus latus</i>)	Pimiento	Examinar hojas jóvenes con lupa ($\geq 30\times$) y observar síntomas tempranos	Sin umbral definido; tratar al momento de su detección
Ácaro rojo (<i>Tetranychus urticae</i>)	Tomate, pimiento	Revisar el envés de folíolos terminales	≥ 10 ácaros por planta o presencia de hojas con daño activo
Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	Tomate, pimiento	Contar ninfas en hojas del tercio medio y utilizar trampas cromáticas	≥ 5 ninfas por folíolo o ≥ 1 adulto por hoja
Minador de la hoja (<i>Liriomyza spp.</i>)	Tomate, pimiento	Contar larvas vivas dentro de las minas en la planta completa	≥ 0.7 larvas por planta
Oruga de la remolacha (<i>Spodoptera exigua</i>)	Tomate, pimiento	Inspeccionar plantas completas en plántulas o 3 folíolos terminales en plantas adultas	≥ 1 huevo o ≥ 1 larva por cada 6 plantas
Cornudo del tomate y tabaco (<i>Manduca spp.</i>)	Tomate	Inspeccionar follaje superior y áreas con defoliación reciente	Presencia de larvas grandes
Orugas medidoras (<i>Trichoplusia ni</i> , <i>Pseudoplusia includens</i>)	Tomate, pimiento	Revisar follaje medio y superior con daño reciente	≥ 1 larva por cada 6 plantas

Oruga de la mazorca (<i>Helicoverpa zea</i>)	Tomate, pimiento	Revisar flores y hojas cercanas; usar trampas de feromona	≥1 larva por cada 10 plantas o ≥5–10 adultos por trampa por noche
Oruga amarilla rayada (<i>Spodoptera ornithogalli</i>)	Tomate, pimiento	Muestrear follaje	≥1 larva por cada 6 plantas en preflorescencia o ≥1 huevo o larva por predio en postfloración

*Umbral basado en campo abierto; puede variar en túneles.

Tabla desarrollada con información de Schuster, D. (2006). Grower's IPM Guide for Florida Tomato and Pepper Production (J. Gillett, H. Hans Petersen, N. Leppla, & D. Thomas, Eds.). University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences.

Tabla 7. Umbrales de acción para plagas en cultivos de hoja* (lechuga, endivia y escarola) (Nuessly & Webb, 2002).

Plaga	Procedimiento de muestreo	Umbral de acción
Gusano de la remolacha (<i>Spodoptera exigua</i>)	Realizar muestreo semanal; revisar hojas externas y centro de la planta	≥1 larva (estadios 2–3) por cada 10 plantas antes de formación de cabeza; ≥1 larva por cada 25 plantas después
Agrimensor verde del repollo (<i>Trichoplusia ni</i>)	Buscar perforaciones grandes y excretas; monitorear adultos	≥1 larva por cada 25 plantas antes de formación de cabeza
Oruga de la mazorca (<i>Helicoverpa zea</i>)	Inspeccionar semanalmente hojas externas y cabezas en formación	≥1 larva por cada 2 plantas antes de formación de cabeza; ≥1 larva por cada 25 plantas después
Minador de la hoja (<i>Liriomyza trifolii</i>)	Revisar plántulas al menos dos veces por semana	≥1 mina por planta en etapas tempranas
Trípidos (<i>Frankliniella</i> spp.)	Revisar base de hojas y utilizar trampas cromáticas	Alta abundancia de individuos acompañada de daño visible o riesgo de transmisión de virus
Áfidos (<i>Myzus persicae</i>)	Revisar envés de hojas externas y centro de la planta	Presencia de colonias activas en desarrollo
Crisomélidos (<i>Diabrotica</i> spp.)	Observar daño de masticación en plántulas	Presencia de insectos con daño significativo en el cultivo

*Umbral basado en campo abierto; puede variar en túneles.

Tabla desarrollada con información de Nuessly, G. S., & Webb, S. E. (2002). Insect Management for Leafy Vegetables (Lettuce, Endive and Escarole). <http://edis.ifas.ufl.edu/>.

Control de plagas mediante uso de trampas cromáticas

Las trampas cromáticas en rollo son útiles para reducir poblaciones de insectos voladores como áfidos, mosca blanca, trípidos y minadores. Se recomienda colocarlas a la altura del cultivo y reemplazarlas periódicamente (Figura 26).



Figura 26. Uso de trampas cromáticas en rollo para el manejo de insectos voladores en túnel de cultivo. Foto por Agro. Gustavo A. Rodríguez, Universidad de Puerto Rico.

Control biológico de plagas en túneles de cultivo

El **control biológico** consiste en utilizar insectos o ácaros beneficiosos para reducir las poblaciones de plagas. Esta estrategia puede implementarse mediante dos enfoques principales: control biológico por conservación y control biológico aumentativo.

Control biológico por conservación

El control biológico por conservación consiste en **atraer y proteger los enemigos naturales presentes en la finca**, fomentando su establecimiento y actividad en el cultivo. Esto puede lograrse principalmente mediante el uso de plantas florecedoras que provean néctar y polen, los cuales sirven como fuente de alimento para estos organismos.

Entre las plantas que pueden utilizarse para este propósito se incluyen:

- ✓ “marigold” (*Tagetes spp.*)
- ✓ girasoles (*Helianthus annuus*)
- ✓ crotalaria (*Crotalaria spp.*)
- ✓ cilantrillo florecido

Estas plantas favorecen la presencia de enemigos naturales como parasitoides y depredadores, contribuyendo a la reducción de poblaciones de plagas dentro del túnel de cultivo (Figura 27).



Figura 27. La inclusión de plantas florecedoras puede fomentar poblaciones de enemigos naturales. Foto creada con inteligencia artificial.

Para más información, consulte la publicación: **“Control biológico por conservación: plantas para fomentar los enemigos naturales en la finca”** (Rodríguez, 2022).

Control biológico aumentativo

El control biológico aumentativo consiste en **liberar enemigos naturales reproducidos comercialmente** con el objetivo de controlar plagas específicas en el cultivo.

En túneles de cultivo en ambientes tropicales, se recomienda seleccionar organismos que presenten las siguientes características:

- ✓ alta tolerancia a temperaturas elevadas
- ✓ baja capacidad de vuelo (para permanecer dentro del sistema)
- ✓ dieta amplia que incluya plagas, polen y néctar



Figura 28. Los ácaros depredadores se pueden comprar y liberar en los predios mediante el uso de bolsitas especializadas. Foto por <https://www.koppert.es/>

Un ejemplo de organismo utilizado en este tipo de sistemas es el ácaro depredador ***Amblyseius swirskii*** (Calvo et al., 2015) (Figura 28) , el cual es efectivo para el manejo de plagas como trips y mosca blanca.

Para conocer otros organismos disponibles, consulte la publicación: **“Control biológico aumentativo: insectos y ácaros para el control biológico en Puerto Rico”** (Rodríguez, 2023).

Control químico de plagas en túneles de cultivo

Desde el punto de vista regulatorio, el uso de plaguicidas dentro de túneles de cultivo se maneja de forma similar al manejo en cultivos a campo abierto. Para que una estructura agrícola sea considerada un invernadero (*greenhouse*) por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) y el *Worker Protection Standard (WPS)*, esta debe estar completamente cerrada y cubierta con material no poroso (Environmental Protection Agency, 2026).

En condiciones tropicales, los túneles de cultivo generalmente no cumplen con esta definición, ya que suelen tener laterales abiertos o estar cubiertos con materiales porosos, como el sarán. Por esta razón, el uso de plaguicidas en túneles de cultivo en Puerto Rico debe manejarse siguiendo las regulaciones aplicables a sistemas al aire libre.

Pasos para la selección de insecticidas y acaricidas

Para seleccionar correctamente un producto, se recomienda seguir los siguientes pasos:

1. **Identificar correctamente la plaga** - De ser necesario, consulte a su agente agrícola del Servicio de Extensión Agrícola.
2. **Monitorear los niveles poblacionales** - Utilice muestreos de campo y considere los umbrales de acción como referencia.

3. **Seleccionar productos registrados para el cultivo -** Verifique que el producto esté etiquetado para el cultivo y la plaga específica.
4. **Leer y entender la etiqueta del producto -** La etiqueta provee información crítica sobre dosis, intervalos de entrada y medidas de seguridad.
5. **Seleccionar productos de menor impacto cuando sea posible -** Priorice productos selectivos que afecten menos a los enemigos naturales.

Manejo de resistencia a insecticidas

El uso repetido de plaguicidas con el mismo modo de acción puede provocar que las plagas desarrollen resistencia. Para reducir este riesgo, se recomienda:

1. **Rotar insecticidas con diferentes modos de acción**
2. Evitar aplicaciones consecutivas del mismo ingrediente activo
3. Seguir la clasificación del **Insecticide Resistance Action Committee (IRAC)**

Para más información, consulte: <https://irac-online.org/mode-of-action/classification-online>

Uso de productos en agricultura orgánica

Para agricultores que utilizan prácticas orgánicas, es importante seleccionar productos aprobados para este tipo de sistema.

En Puerto Rico, puede consultar el listado: **“Plaguicidas, Controles Biológicos y Bioestimulantes para Agricultura Orgánica en Puerto Rico.”**

Además, se recomienda verificar la certificación de los productos a través del **Organic Materials Review Institute (OMRI)**: <https://www.omri.org>

Prevención de enfermedades en túneles de cultivo

Los túneles de cultivo en zonas tropicales como Puerto Rico suelen presentar condiciones cálidas y húmedas, las cuales favorecen el desarrollo de enfermedades en los cultivos. Además, dentro de estas estructuras, la rotación de cultivos y el descanso del predio suelen ser más limitados, lo que puede propiciar la proliferación de patógenos.

Por estas razones, la prevención constituye una de las estrategias más importantes para mantener la sanidad del cultivo. Los componentes principales de un programa de manejo de enfermedades en túneles de cultivo se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Componentes esenciales para un programa de manejo integrado de enfermedades

<i>Control cultural</i>	
✓	Reducción de la temperatura y la humedad dentro del túnel mediante un diseño adecuado y una ubicación correcta de la estructura.
✓	Selección de cultivares adaptados a condiciones tropicales y con resistencia a enfermedades comunes de la zona.
✓	Preparación adecuada del suelo, incluyendo arado primario, arado secundario e instalación de drenajes cuando sea necesario.
✓	Manejo adecuado de la humedad del suelo mediante el uso de riego por goteo y herramientas como tensiómetros para la toma de decisiones.
✓	Manejo preciso de la fertilización, tanto orgánica como convencional, para evitar excesos que favorezcan enfermedades.
✓	Implementación de rotación de cultivos y uso de plantas cobertoras, considerando las ventajas y limitaciones de cada familia botánica.
✓	Uso de biosolarización del suelo como estrategia de desinfección.

- ✓ Uso de distancias de siembra adecuadas según el cultivo para mejorar la ventilación.
- ✓ Poda y remoción de material vegetal enfermo, el cual debe retirarse fuera del túnel.
- ✓ Poda y estaqueo en cultivos que así lo requieran para mejorar la aireación y reducir la humedad.
- ✓ Remoción de residuos de cosecha luego de finalizar el ciclo del cultivo.
- ✓ Manejo efectivo de malezas dentro del túnel
- ✓ Monitoreo constante del cultivo (al menos dos veces por semana) para la detección temprana de enfermedades.W

Control químico

- ✓ Activación de los mecanismos de defensa de las plantas mediante el uso de bioestimulantes.
- ✓ Rotación de fungicidas y bactericidas según su modo de acción, siguiendo las recomendaciones técnicas para evitar el desarrollo de resistencia.

Enfermedades comunes en túneles de cultivo en puerto Rico

La identificación correcta de las enfermedades presentes en el cultivo es esencial para lograr un manejo efectivo de los patógenos. Se recomienda realizar monitoreos al menos dos veces por semana para detectar síntomas tempranos.

Las enfermedades vasculares o del sistema radicular suelen manifestarse como marchitez súbita de las plantas. Ante la presencia de síntomas típicos de enfermedad, se recomienda contactar a la Clínica de Diagnóstico de Enfermedades de Plantas de la Universidad de Puerto Rico, a través de su agente agrícola del Servicio de Extensión Agrícola.

A continuación, se describen algunas de las enfermedades más comunes en túneles de cultivo.

Mancha bacteriana (*Xanthomonas* spp.) (Figura 29)

Común en tomate y pimiento. Se caracteriza por la aparición de manchas acuosas de color marrón en las hojas y frutos. El patógeno puede sobrevivir en residuos de cultivo y en la semilla, y se disemina mediante labores agrícolas, agua de lluvia o riego y heridas en las plantas.



Figura 29. Mancha bacteriana (*Xanthomonas* spp.) en hoja de pimiento. Foto por Wanda Almodóvar, Universidad de Puerto Rico.

Tizón temprano (*Alternaria solani*) (Figura 30)

Frecuente en tomate. Produce manchas oscuras con anillos concéntricos, generalmente en hojas viejas. Puede sobrevivir en residuos de cultivo, semillas y malezas hospederas dentro de la familia de las solanáceas.



Figura 30. Tizón temprano (*Alternaria solani*) en tomate. Foto por Wanda Almodóvar, Universidad de Puerto Rico.

Moho de la hoja (*Fulvia fulvum*) (Figura 31)

Se presenta bajo condiciones de alta humedad y ventilación limitada. Se propaga principalmente por el manejo del cultivo y el riego, y puede causar defoliación severa si no se controla oportunamente.



Figura 31. Moho de la hoja (*Fulvia fulvum*) en tomate. Foto por Wanda Almodóvar, Universidad de Puerto Rico.

Añublo lanoso (*Pseudoperonospora cubensis*) (Figura 32)

Afecta principalmente cucurbitáceas como el pepinillo. Es favorecido por condiciones cálidas y húmedas. Se caracteriza por la producción de esporas de color gris azulado en el envés de las hojas, causando defoliación y reducción en la calidad del fruto.

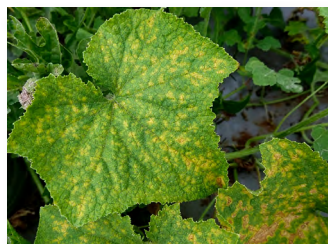


Figura 32. Añublo lanoso (*Pseudoperonospora cubensis*) en pepinillo. Foto por Wanda Almodóvar, Universidad de Puerto Rico.

Añublo polvoriento (*Leveillula taurica*) (Figura 33)

Común en cultivos como calabaza y melón. Provoca manchas amarillas en el haz de las hojas, que progresan a necrosis. Puede causar defoliación severa y es considerado de difícil manejo.



Figura 33. Añublo polvoriento (*Leveillula taurica*) en calabaza. Foto por Wanda Almodóvar, Universidad de Puerto Rico.

Mancha angular (*Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*) (Figura 34)

Frecuente en pepinillo. Afecta tanto hojas como frutos. Se transmite principalmente por semilla, herramientas contaminadas y condiciones de alta humedad.



Figura 34. Mancha angular (*Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*) en cucurbitáceas. Foto por Wanda Almodóvar, Universidad de Puerto Rico.

Enfermedades causadas por *Phytophthora* spp. (Figura 35)

Incluyen pudriciones de raíz, tallo y fruto. Estas enfermedades provocan marchitez y muerte de plantas, especialmente en suelos con mal drenaje o bajo condiciones de exceso de humedad.



Figura 35. Síntomas de *Phytophthora* spp. en pimiento. Foto por Wanda Almodóvar, Universidad de Puerto Rico.

Pudrición negra (*Xanthomonas campestris*) (Figura 36)

Afecta cultivos de la familia de las crucíferas, como el repollo. Produce lesiones en forma de “V” en los bordes de las hojas y ennegrecimiento de las venas. Se disemina mediante agua, herramientas contaminadas y semillas.

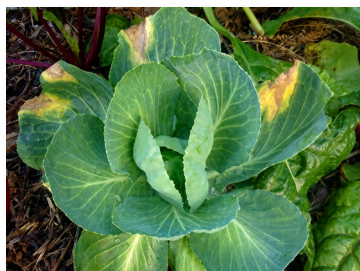


Figura 36. Pudrición negra (*Xanthomonas campestris*) en repollo. Fotos por. Wanda Almodóvar, Universidad de Puerto Rico.

Virus (Figura 37)

Diversos virus afectan cultivos como tomate, pimiento y pepinillo, causando enanismo y deformaciones en plantas y frutos. Generalmente son transmitidos por insectos vectores como áfidos, trips y mosca blanca. Una vez establecidos en la planta, no existe control curativo, por lo que la prevención mediante el manejo de estos vectores es fundamental.



Figura 37. Virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV). Foto por Don Ferrin, Louisiana State University Agricultural Center, Bugwood.org

Activación de defensas internas de las plantas contra patógenos

Muchas regiones de Puerto Rico presentan condiciones cálidas y húmedas que favorecen el desarrollo de enfermedades. Por esta razón, puede ser útil estimular los mecanismos naturales de defensa de las plantas.

Estos mecanismos pueden reducir la entrada y el establecimiento de patógenos en los tejidos vegetales y pueden ser activados mediante el uso de bioestimulantes y algunos plaguicidas (Figura 38).

Figura 38. Bioestimulantes utilizados para activar las defensas de las plantas (Rodríguez Rivera, 2024).



Control químico de enfermedades en túneles de cultivo

Para prevenir o controlar enfermedades causadas por patógenos de origen fúngico (hongos) o bacteriano (bacterias), se utilizan productos conocidos como fungicidas o fungicidas-bactericidas. La selección adecuada de estos productos depende de la correcta identificación del patógeno, ya que el uso de un producto inadecuado puede resultar inefectivo y aumentar los costos de producción. Para obtener asistencia en la identificación de enfermedades, se recomienda consultar a su agente agrícola del Servicio de Extensión Agrícola. Si desea conocer los productos aprobados para agricultura orgánica disponibles en Puerto Rico, puede consultar el listado [“Plaguicidas, Controles Biológicos y Bioestimulantes para Agricultura Orgánica en Puerto Rico”](#) (Rodríguez Rivera, 2024).

Manejo integrado de nematodos en suelos bajo túneles

Los nematodos fitoparásitos son organismos microscópicos que viven en el suelo y se alimentan de las raíces de los cultivos. Su ataque puede causar:

- ✓ Reducción en la absorción de agua y nutrientes
- ✓ Disminución en el crecimiento de las plantas
- ✓ Mayor susceptibilidad a enfermedades oportunistas
- ✓ Formación de nódulos o agallas en las raíces (Figura 39)



Figura 39. Nódulos en raíces de tomate causados por nematodo nodulador. Foto por Gustavo Rodríguez, Universidad de Puerto Rico.

El manejo de nematodos en túneles de cultivo debe basarse en un enfoque preventivo e integrado, que incluya las siguientes estrategias:

1. Identificación del problema

Es fundamental confirmar la presencia de nematodos mediante análisis de suelo o raíces. Para esto, se recomienda utilizar los servicios de su agente agrícola del Servicio de Extensión Agrícola o de la Clínica de Diagnóstico de Enfermedades de Plantas de la Universidad de Puerto Rico.

2. Solarización del suelo

La solarización puede utilizarse como una herramienta efectiva para elevar la temperatura del suelo y reducir poblaciones de patógenos, incluyendo nematodos.

3. Uso de cultivos de cobertura con efecto nematicida

El uso de cultivos de cobertura como *Crotalaria juncea*, *Vigna unguiculata* (caupí) o híbridos de sorgo-sudán (*Sorghum bicolor* × *Sorghum sudanense*) antes del establecimiento del cultivo comercial puede contribuir a reducir las poblaciones de nematodos (Melakeberhan & Kakaire, 2021).

4. Incorporación de materia orgánica

La aplicación de compostas bien elaboradas mejora la estructura del suelo, aumenta la actividad biológica y puede ayudar a suprimir poblaciones de nematodos (Mostafa et al., 2022).

5. Uso de nematicidas registrados

Cuando sea necesario, se recomienda utilizar nematicidas registrados para el cultivo de hortalizas, siguiendo siempre las indicaciones de la etiqueta del producto.

Si desea conocer nematicidas aprobados para agricultura orgánica disponibles en Puerto Rico, puede consultar el listado:

[“Plaguicidas, Controles Biológicos y Bioestimulantes para Agricultura Orgánica en Puerto Rico.”](#)

Referencias

- Agehara, S., Bryant, T., & Boyd, N. (2026). *Vegetable Production Handbook of Florida*. <https://sfyl.ifas.ufl.edu/bradford>
- Baudoin, W. O., Von Zabeltitz, C., & Rome, F. (2002). Greenhouse Constructions for Small Scale Farmers in Tropical Regions. *Proc. IS on Trop. Subtrop. Greenhouses*.
- Calvo, F. J., Knapp, M., van Houten, Y. M., Hoogerbrugge, H., & Belda, J. E. (2015). *Amblyseius swirskii*: What made this predatory mite such a successful biocontrol agent? *Experimental and Applied Acarology*, 65(4), 419–433. <https://doi.org/10.1007/s10493-014-9873-0>
- Carey, E. E., Jett, L., Lamont, W. J., Nennich, T. T., Orzolek, M. D., & Williams, K. A. (2009). Horticultural Crop Production in High Tunnels in the United States: A Snapshot. *HortTechnology*, 19(1), 37–43. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.19.1.37>
- Comas Pagán, M., Eric Irizarry Otaño, Bair Gallegos, D., Hernández Heredia, E., Alvarado Ortiz, A., & Almodóvar Caraballo, W. (2021). *Sistemas de túneles: Guía para la construcción, manejo y producción sustentable de cultivos*. Servicio de Extension Agrícola.
- DeGannes, A., Ra Heru, K., Mohammed, A., Paul, C., Rowe, J., Sealy, L., Seepersad CARDI, G., by Anthony DeGannes, W., & Seepersad, G. (2014). *Tropical Greenhouse Manual for the Caribbean*. . The Caribbean Agricultural Research and Development Institute, UWI Campus, St. Augustine, Trinidad and Tobago.
- Environmental Protection Agency. (2026). *Agricultural Worker Protection Standard 40 CFR Parts 156 & 170 Interpretive Policy*. chrome-extension://efaidnbmninnbpcajpcglclefindmkaj/https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/wps_interpretive_policy_06_26_15.pdf
- Gareth Jones, D. (1998). The Epidemiology of Plant Diseases. In *The Epidemiology of Plant Diseases*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-3302-1>
- Goyal, M. R. (2012). *Management of Drip/Trickle or Micro Irrigation* (1st ed.). Apple Academic Press Inc.

Guerena, M. (2019). Soil Solarization and Biosolarization. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 6, Number JUL). Frontiers Research Foundation. <https://attra.ncat.org/publication/soil-solarization-and-biosolarization/>

Hanson, K., Mahato, T., & Schuch, U. K. (2014). Soil solarization in high tunnels in the semiarid southwestern United States. *HortScience*, 49(9), 1165–1170. <https://doi.org/10.21273/hortsci.49.9.1165>

Ingwell, L. L., Thompson, S. L., Kaplan, I., & Foster, R. E. (2017). High tunnels: protection for rather than from insect pests? *Pest Management Science*, 73(12), 2439–2446. <https://doi.org/10.1002/ps.4634>

Ivy, A. (2014). *BEST MANAGEMENT PRACTICES IN HIGH TUNNEL PRODUCTION Training & Pruning Tomatoes*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://rvpadmin.cce.cornell.edu/uploads/doc_346.pdf

Janke, R. R., Altamimi, M. E., & Khan, M. (2017). The Use of High Tunnels to Produce Fruit and Vegetable Crops in North America. *Agricultural Sciences*, 08(07), 692–715. <https://doi.org/10.4236/as.2017.87052>

Johnny's Selected Seeds. (2016). *Tomatoes-peppers-basket-weave-trellising-instructions*. Johnnyseeds.com

Lamont, W. J. (2009). Overview of the Use of High Tunnels Worldwide. *Hort Technology*, 19(1), 25–29.

McCartney, L., & Lefsrud, M. G. (2018). Protected agriculture in extreme environments: A review of controlled environment agriculture in Tropical, arid, polar, and urban locations. *Applied Engineering in Agriculture*, 34(2), 455–473. <https://doi.org/10.13031/aea.12590>

Melakeberhan, H., & Kakaire, S. (2021). *Managing Nematodes, Cover Crops, and Soil Health in Diverse Cropping Systems*. <http://nemaplex.ucdavis.edu/>

Mohammed Seif Al-Shamiry, F., Rashid Mohamed Sharif, A., Kamaruddin, R., Ahmad, D., Janius, R., & Yusri Mohamad, M. (2006). Microclimate inside Tunnel-Roof and Jack-Roof Tropical Greenhouse Structures. In R. Kamaruddin, I. H. Rukunuddin, & N. R. Abdul Hamid (Eds.), *Proc. IS on Greenhouses, Environmental Controls & In-house Mechanization for Crop Production in the Tropics and Sub-tropics*.

Mostafa, E.-S., El-Ashry, R., & Ali, A. (2022). Suppress Root-Knot Nematode Infested Vegetable Fields Via Enhancing Rhizobacteria Inoculated in Composted Chicken Manure. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, B. Zoology*, 14(1), 169–191. <https://doi.org/10.21608/eajbsz.2022.229451>

Natural Resources Conservation Service. (2023). *High Tunnel Initiative - Caribbean*. High Tunnel Initiative - Caribbean. <https://www.nrcs.usda.gov/programs-initiatives/eqip-high-tunnel-initiative/caribbean-area/high-tunnel-initiative-caribbean>

Nuessly, G. S., & Webb, S. E. (2002). *Insect Management for Leafy Vegetables (Lettuce, Endive and Escarole)*. <http://edis.ifas.ufl.edu/>.

Odesola, I. F., Ezekwem, & Chidozie. (2012). The Effect of Shape and Orientation on a Greenhouse: A Review. *AFRREV STECH*, 1(1). www.afrevjo.net/afrevstech

Rodríguez, G. A. (2022). *Control Biológico por Conservación; plantas para fomentar los enemigos naturales en la finca*. <https://www.uprm.edu/sea/mip/publicaciones-ipm/control-biologico-de-plagas-ipm/>

Rodríguez, G. A. (2023). *Control Biológico Aumentativo Insectos y Ácaros para el Control Biológico en Puerto Rico*.

Rodríguez, G. A. (2025). *Prácticas agrícolas para el manejo del cultivo de recaó (Eryngium foetidum) en Puerto Rico*. <https://www.uprm.edu/sea/cultivo-recao/>

Rodríguez, G. A., Macchiavelli Girón, S., Sierra Rivera, L. G., Rodríguez Cruz, L. A., Hernández, E., & Irizarry, E. (2023). *Uso eficiente del agua de riego en fincas de hortalizas y otros cultivos*. <https://www.uprm.edu/sea/manual-uso-eficiente-del-agua-de-riego-en-fincas-de-hortalizas-y-otros-cultivos-1-pdf/>

Rodríguez Rivera, G. A. (2024). *Plaguicidas, Controles Biológicos y Bioestimulantes para Agricultura Orgánica en Puerto Rico*. <https://www.uprm.edu/sea/mip/publicaciones-ipm/agriorg/>

Rowlandson, T., Gleason, M., Sentelhas, P., Gillespie, T., Thomas, C., & Hornbuckle, B. (2015). Reconsidering leaf wetness duration determination for plant disease management. *Plant Disease*, 99(3), 310–319. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-14-0529-FE>

Sánchez, E. (2025). *Growing Cucumbers in High Tunnels*. <https://extension.psu.edu/growing-cucumbers-in-high-tunnels>

Sánchez, E., Sulliva, C. F., & Skinner, M. (2026). *High Tunnel Vegetable Crops: Designing a Scouting Plan*. <https://ag.umass.edu/vegetable/resources/scouting-resources>

Schuster, D. (2006). *Grower's IPM Guide for Florida Tomato and Pepper Production* (J. Gillett, H. HansPetersen, N. Leppla, & D. Thomas, Eds.). University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. https://ipm.ifas.ufl.edu/agricultural_ipm/Growers_IPM_Guide_for_Florida_Tomato_and_Pepper_Production.html

Sideman, R. (2026). *Pruning Tomato Plants*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclcfefindmkaj/https://extension.unh.edu/sites/default/files/migrated_unmanaged_files/Resource000598_Rep620.pdf

Ted, B., & Frisch, T. (2007). *High Tunnels Using Low-Cost Technology to Increase Yields, Improve Quality and Extend the Season*. www.uvm.edu/sustainableagriculture.

von Zabeltitz, C. (2011). *Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates*. Springer Heidelberg Dordrecht London New York.





Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez
Colegio de Ciencias Agrícolas
Servicio de Extensión Agrícola
Julio 2026 © Derechos Reservados



COLEGIO
DE CIENCIAS
AGRICOLAS™
UPR • RUM



SERVICIO
DE EXTENSIÓN
AGRÍCOLA™
UPR • RUM • CCA

Publicado para la promoción del trabajo cooperativo de Extensión según lo dispuesto por las leyes del Congreso del 8 de mayo y del 30 de junio de 1914, en cooperación con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Extensión Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico.

El Colegio de Ciencias Agrícolas del Recinto Universitario de Mayagüez (CCA-RUM) es un Patrono con Igualdad de Oportunidades en el Empleo. M/F/V/I • The College of Agricultural Sciences of the University of Puerto Rico, Mayagüez Campus (CCA-RUM), is an Equal Opportunity Employer - M/F/V/I

Diseño gráfico e impresión: Medios Educativos e Información, S.E.A. • (FED)