



El Primer Invernadero de **Alta Tecnología** para el **Cultivo de Tomate en Colombia** y sus Consideraciones Generales de Manejo

Módulo **2** Control climático



DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
INVERNADERO INNOVADOR DE ALTA TECNOLOGÍA
QUE APALANCARÁ E IMPULSARÁ EL MEJORAMIENTO
DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE CULTIVO DE
TOMATE EN EL SECTOR AGRÍCOLA COLOMBIANO.

Copyright:

© 2024 Sáenz Fety S.A.S.

Todos los derechos reservados.

Primera edición

Bogotá D.C., diciembre de 2024

Edición:

[Hernán Javier Monroy](#)

Director Técnico Hortalizas Sáenz Fety

[Rodrigo Gil Castañeda](#)

Profesor Asociado Universidad Nacional
de Colombia

[Lady Diana Arias](#)

Pasante universitario del Centro de Innovación y
Desarrollo (CID), Sáenz Fety - Universidad Nacional
de Colombia

[Andrés Sáenz Merino](#)

Director de Proyectos e Innovación Sáenz Fety

[Carlos Méndez](#)

Coordinador Centro de Innovación y Desarrollo (CID),
Sáenz Fety

[Juan David Rosero](#)

Ingeniero agrónomo del Centro de Innovación y
Desarrollo (CID), Sáenz Fety

Corrección de estilo:

[Laura Alfonso Villamarín](#)

Gestor de comunicaciones Sáenz Fety

Diseño y diagramación:

En Algún Lugar Estudio S.A.S.

Fotografías e imágenes:

Sáenz Fety

SÁENZ FETY S.A.S. | Tel: +57 (601) 674 0055

Cel: +57 311 516 9295 | info@saenzfety.com

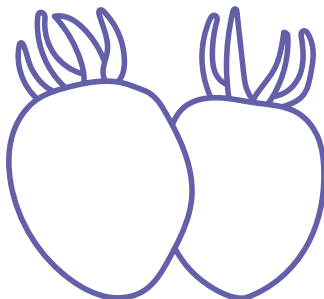
Oficina Principal:

Calle 127A # 7 – 19 Of. 401 – Bogotá D.C.

Centro Logístico:

Km 1.5 Vía Funza – Siberia, Parque Industrial San
Diego, Bodega C3, Funza, Cundinamarca.
Colombia, Sur América

*Queda prohibida la reproducción total o parcial
de este ejemplar por cualquier procedimiento
sin la autorización del titular de los derechos
patrimoniales.



**DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN INVERNADERO INNOVADOR
DE ALTA TECNOLOGÍA QUE APALANCARÁ E IMPULSARÁ EL MEJORAMIENTO
DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE CULTIVO DE TOMATE EN EL SECTOR
AGRÍCOLA COLOMBIANO.**

Esta publicación ha sido elaborada por el Departamento de Innovación, Investigación y Desarrollo de Sáenz Fety S.A.S. con el apoyo de la facultad de Ciencias Agrarias (sede Bogotá) de la Universidad Nacional de Colombia y el financiamiento del Ministerio de Ciencias Tecnología e Innovación de Colombia (Minciencias).

Autores:

Hernán Javier Monroy
Ingeniero Agrónomo

Director Técnico Hortalizas - Sáenz Fety

Rodrigo Gil Castañeda
Ingeniero Agrónomo

Profesor Asociado - Universidad Nacional de Colombia



SÁENZ FETY

2024

¿Quiénes somos?

Somos una empresa colombiana con más de 70 años de experiencia, dedicada a la importación y distribución de insumos para el sector agropecuario del país, dentro de los cuales se destacan semillas, productos para la nutrición animal, sustratos, entre otros.

¿Qué hacemos?

Sáenz Fety se dedica a proporcionar a ganaderos y agricultores las mejores alternativas en insumos de alta tecnología e innovación a través de nuestras tres líneas especializadas **Agro, Bio y Pecuaria**. Nuestro compromiso es brindarles herramientas avanzadas y eficientes que les permitan alcanzar un rendimiento óptimo en sus actividades agrícolas y pecuarias.

Propósito:

Aportar al sector agropecuario colombiano desde la innovación, el desarrollo y la transferencia de conocimiento, para empoderar a los productores a que sean más sostenibles económica, ambiental y socialmente.





Nuestro portafolio

	Semillas	Sustratos	Insumos
	Cultivo Profesional Baby Leaves Aromáticas Microgreens Huerta Casera Césped (Ornamental - Deportivo)	Cocos Turbas	Bandejas para germinación Macetas para hidroponía Macetas ornamentales
	Semillas para producción de forraje	Inoculantes para ensilaje	Nutrición Animal Lactoreemplazadores para:
	Clima Cálido Clima Frío Maíces Sorgos	MAGNIVA	Terneras Lechones Potros
	Coberturas	Trampas cromáticas para plagas	
	Agribon® Pinturas para invernaderos	Monitoreo Trampeo masivo	

¡Escanea para descubrir toda la información que tenemos para ti!
Conoce nuestro portafolio, sus recomendaciones de uso y contacta a nuestro asesor técnico de tu zona:



¿Qué hacemos en nuestras líneas especializadas?

► AGRO

- Identificar las mejores variedades de semillas para las condiciones colombianas.
- Aprender el manejo óptimo de cada material.
- Transferir el conocimiento adquirido al productor.

► PECUARIA

- Encontrar materiales que aumenten la productividad de la ganadería de carne y leche.
- Fomentar la productividad ganadera disminuyendo la deforestación.
- Incrementar la sostenibilidad del sector ganadero colombiano.

► BIO

- Innovar en alternativas de control biológico de plagas y enfermedades.
- Promover la inocuidad de la producción agropecuaria.
- Aportar al desarrollo sostenible de los agro-ecosistemas.

► CENTRO DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO - CID

- Adaptar modelos de producción a partir de la investigación.
- Transferir el conocimiento adquirido a agricultores y ganaderos para mejorar sus estándares de producción.
- Ser pioneros en el uso e implementación de agro-tecnologías.

El Centro de Innovación y Desarrollo (CID) - Sáenz Fety

En el Centro de Innovación y Desarrollo (CID), nos dedicamos a impulsar el éxito económico de los productores a través de la investigación y desarrollo de técnicas innovadoras para el uso y manejo de semillas forrajeras, hortalizas e insumos agropecuarios.



Nuestro objetivo es encontrar soluciones que se adapten a las necesidades de los productores, ofreciendo insumos de alta calidad y maximizando el rendimiento de los cultivos.

Aportar al sector agropecuario colombiano desde la innovación, el desarrollo y la transferencia de conocimiento, para empoderar a los productores a que sean más sostenibles económica, ambiental y socialmente.

Un espacio creado para la investigación de la adaptabilidad, uso y manejo de semillas y cultivos de forrajes, hortalizas e insumos agropecuarios; con el fin de garantizar la calidad de nuestros productos a los clientes y el éxito en su actividad económica.

Transferir conocimiento de generación en generación es la única manera de especializar y modernizar el sector agropecuario en Colombia.

Por ello, en el Centro de Desarrollo e Innovación tenemos los siguientes pilares:



Catálogo vivo.



Investigación y desarrollo.



Centro de transferencia de conocimiento.

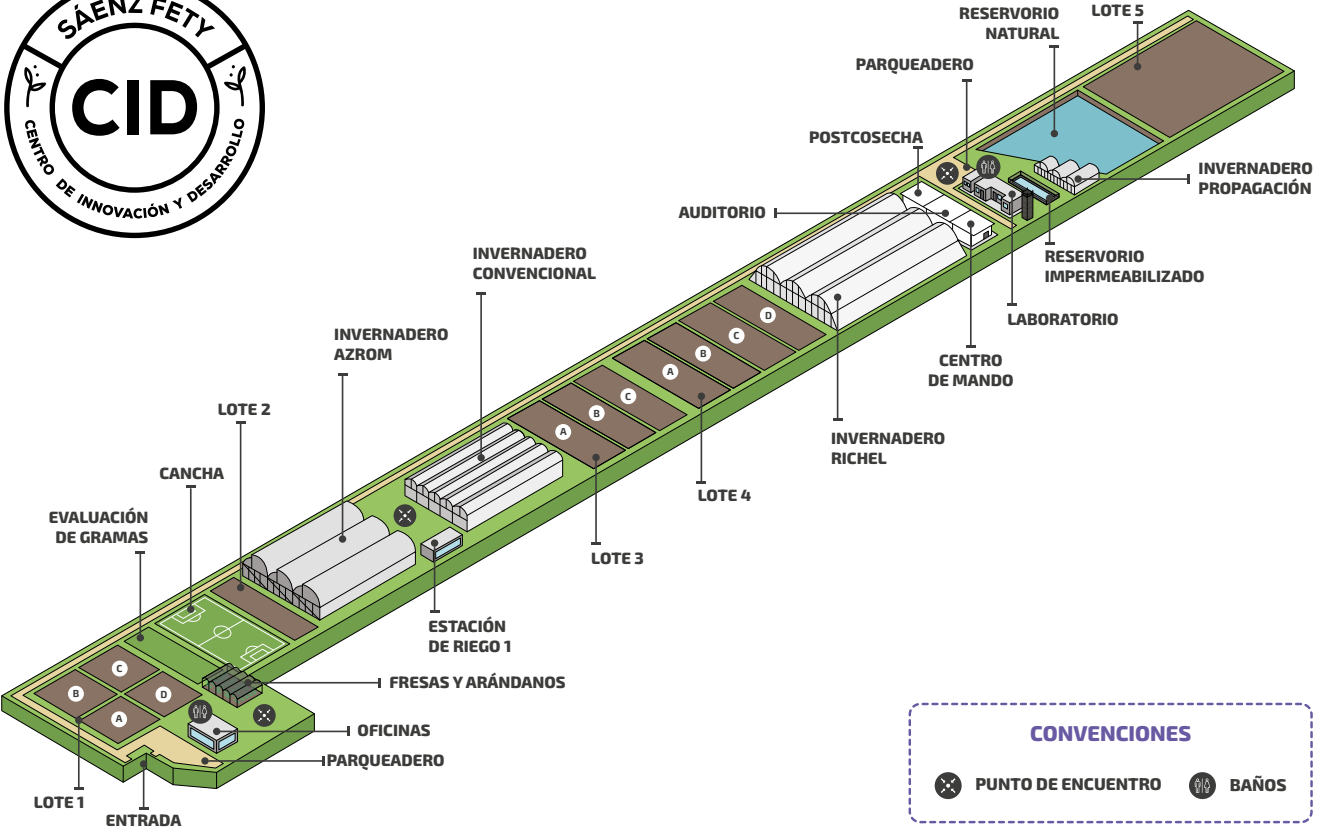


Mix experiencia agropecuaria en Colombia.

Información General del CID

- **Ubicación:** Funza, Cundinamarca.
- **Temperatura media:** 14°C
- **Altitud:** 2,550 m.s.n.m.
- **7 Hectáreas** de Investigación.
- **+500** variedades de hortalizas y forrajes de clima frío.
- **Tipo de suelo:** Franco Limoso.
- **Pluviosidad:** 800 mm/año.

Mapa Instalaciones





Sobre los autores

Hernán Javier Monroy



Hernán Monroy es **Ingeniero Agrónomo** de la Universidad Nacional de Colombia, con **18 años de experiencia en el área técnica y de innovación y desarrollo** del sector hortícola. Posee amplios conocimientos en el desarrollo técnico e introducción comercial de nuevos productos de frutas y hortalizas en el mercado colombiano.

Cuenta con una destacada trayectoria en la asesoría técnica de cultivos, entre los que se incluyen tomate, pimentón, lechuga, zanahoria, cebolla, melón y papaya, entre otros. Asimismo, tiene experiencia en el manejo de sistemas hidropónicos y conocimientos especializados en la automatización, control climático y fertirriego en invernaderos.

Rodrigo Gil Castañeda



Rodrigo Gil Castañeda es **Ingeniero Agrónomo y Magíster en Geomática** de la Universidad Nacional de Colombia. Obtuvo el título de **Doctor en Ingeniería de Biociencias** en la Universidad Católica de Lovaina, Bélgica. Cuenta con más de **17 años de experiencia en el sector hortícola**, destacándose en los campos de la investigación y la docencia.

Como docente universitario, ha impartido cursos sobre nutrición vegetal, cultivos bajo invernadero y sistemas de producción hidropónicos. En su faceta como investigador, se ha enfocado en evaluar el impacto de nuevas tecnologías aplicadas al sector agrícola, con especial atención al uso de ambientes protegidos para la producción hortícola. Además, ha trabajado en el desarrollo de modelos que representan fenómenos como la transpiración, el crecimiento vegetal y el movimiento del agua en el suelo, analizando cómo estos afectan procesos relevantes, como la contaminación por nitratos en aguas subterráneas.

Recientemente, se integró como profesor de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, donde lidera el área de producción de hortalizas.

Contenido





DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN INVERNADERO INNOVADOR DE ALTA TECNOLOGÍA QUE APALANCARÁ E IMPULSARÁ EL MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE CULTIVO DE TOMATE EN EL SECTOR AGRÍCOLA COLOMBIANO.

El Primer Invernadero de Alta Tecnología para el Cultivo de Tomate en Colombia y sus Consideraciones Generales de Manejo

Módulo 1

- **El invernadero**

Módulo 2

- **Control climático**

Módulo 3

- **Cultivo en sistema hidropónico en sustrato**

Módulo 4

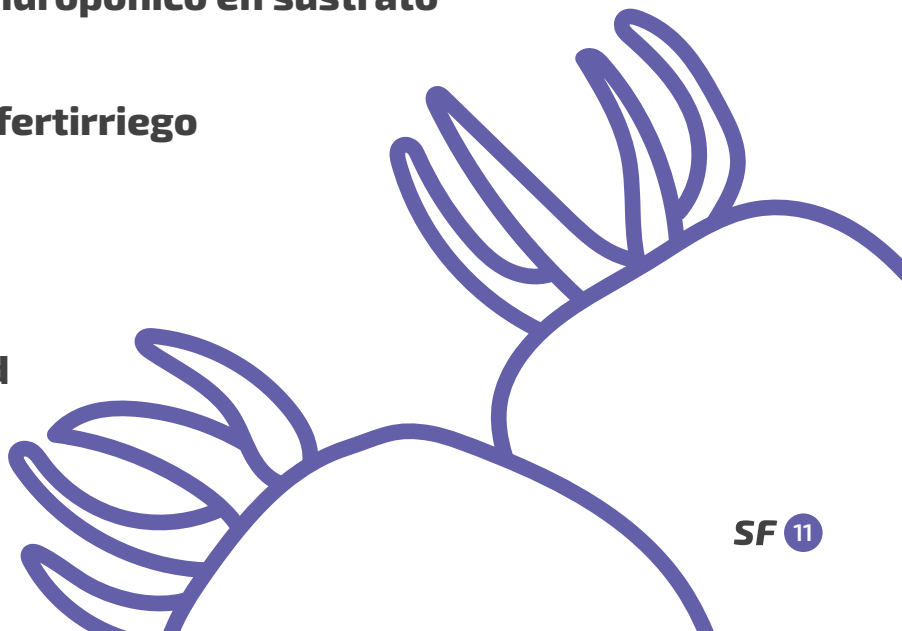
- **Automatización del fertirriego**

Módulo 5

- **Sanidad del cultivo**

Módulo 6

- **Producción y calidad**



Introducción

El consumo de hortalizas ha aumentado significativamente en los últimos años debido a la creciente tendencia mundial hacia una alimentación balanceada, orientada a mejorar la salud y la calidad de vida. Este aumento en la demanda de hortalizas y frutas ha impulsado avances importantes en los campos genético y comercial. **Hoy en día, se desarrollan cultivares con mayor productividad, resistencia a problemas fitosanitarios y mejores características organolépticas**, ofreciendo tanto a productores como a consumidores una amplia variedad de opciones adaptadas a sus necesidades.

Para satisfacer esta creciente demanda, los sistemas de producción han evolucionado gracias al uso de tecnología avanzada. Esto ha permitido **optimizar los procesos, incrementar la eficiencia y proporcionar ventajas competitivas** que aseguran una mayor participación en el mercado.

El tomate, una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial, destaca como un ejemplo clave. **En países como Estados Unidos y Países Bajos, donde los sistemas de producción son altamente tecnificados, se alcanzan rendimientos excepcionales de 80 - 100 kg/m² por año**, cumpliendo con altos estándares de calidad e inocuidad. En contraste, en países de Centroamérica, con niveles tecnológicos intermedios, los rendimientos oscilan entre 60 - 80 kg/m² por año. **En Colombia, la producción anual varía en un rango de 10 - 16 kg/m² debido al limitado uso de tecnología.**

Sáenz Fety, reconocido como un **líder en innovación hortícola en Colombia**, ha introducido durante más de treinta años cultivares mejorados de hortalizas. Estas iniciativas tienen como objetivo **ofrecer opciones innovadoras y de alto desempeño agronómico y comercial.**





El desarrollo de nuevos productos ha incluido tecnología avanzada y mejoras en los sistemas productivos, destacando que el éxito del cultivo depende en un 50% de la selección adecuada de la semilla o variedad, y en un 50% del ambiente y manejo.

En colaboración con la Facultad de Ciencias Agrarias (sede Bogotá) de la Universidad Nacional de Colombia y el financiamiento de Minciencias, mediante el proyecto **CNBT: 0463-913-93763**. Sáenz Fety construyó el **primer invernadero de alta tecnología para el cultivo de tomate en Colombia**. Este proyecto combina elementos de los sistemas holandés, francés e israelí, logrando **optimizar el uso de recursos, incrementar la producción y mejorar la calidad del producto**.

El objetivo general del proyecto es mejorar significativamente los procesos productivos de cultivo de tomate en el sector agrícola colombiano, por medio del diseño, desarrollo e implementación de un sistema de invernadero altamente innovador.

Los objetivos específicos del proyecto son:

- 1 Diseñar el nuevo sistema de invernadero.
- 2 Desarrollar el nuevo sistema de invernadero.
- 3 Implementar el nuevo sistema de invernadero.
- 4 Validar por medio del primer ciclo productivo el nuevo sistema de invernadero.

Uno de los principales logros fue la **elaboración y sometimiento de un artículo científico** titulado ***Evaluation of novel agricultural techniques for enhancing crop production in high-elevation tropical Andean*** en la revista **Engineering in Agriculture, Environment and Food**. Este artículo explica de manera técnica y detallada las investigaciones realizadas y las comparaciones del uso de **baja, media y alta tecnología en la producción de tomate en Colombia**.

Adicionalmente, se sometió el resumen de un segundo artículo titulado ***Insights into Fertigation in Systems with Organic Substrates: Lessons Learned in the High Andean Tropics*** para ser candidato a presentación en el simposio ***GreenSys2025 - International Symposium on Advanced Technologies and Management for Sustainable Greenhouse Systems*** de la revista ***Acta Horticulturae***. Ambos sometimientos ocurrieron en el mes de diciembre de 2024.

Como complemento a estas producciones científicas, se presenta este compendio de publicaciones divulgativas, cuyo objetivo es resumir y facilitar la comprensión de dichos resultados. Este material, diseñado como una serie de documentos divulgativos denominados módulos, está **dirigido a agricultores, asistentes técnicos y profesionales del sector hortícola**. Su propósito es servir como una **guía práctica sobre los beneficios de implementar tecnología en cultivos bajo invernadero**, con un enfoque especial en la producción de tomate en Colombia.

Además, busca establecer un **punto de referencia** para horticultores interesados en adoptar este sistema productivo o en **integrar algunos de sus componentes** a sus sistemas actuales, promoviendo así el avance hacia prácticas más eficientes y sostenibles que contribuyan al **desarrollo tecnológico del sector agrícola** colombiano.





El Primer Invernadero de Alta Tecnología para el Cultivo de Tomate en Colombia y sus Consideraciones Generales de Manejo

Módulo 1

- **El invernadero**

Módulo 2

- **Control climático**

Módulo 3

- **Cultivo en sistema hidropónico en sustrato**

Módulo 4

- **Automatización del fertirriego**

Módulo 5

- **Sanidad del cultivo**

Módulo 6

- **Producción y calidad**

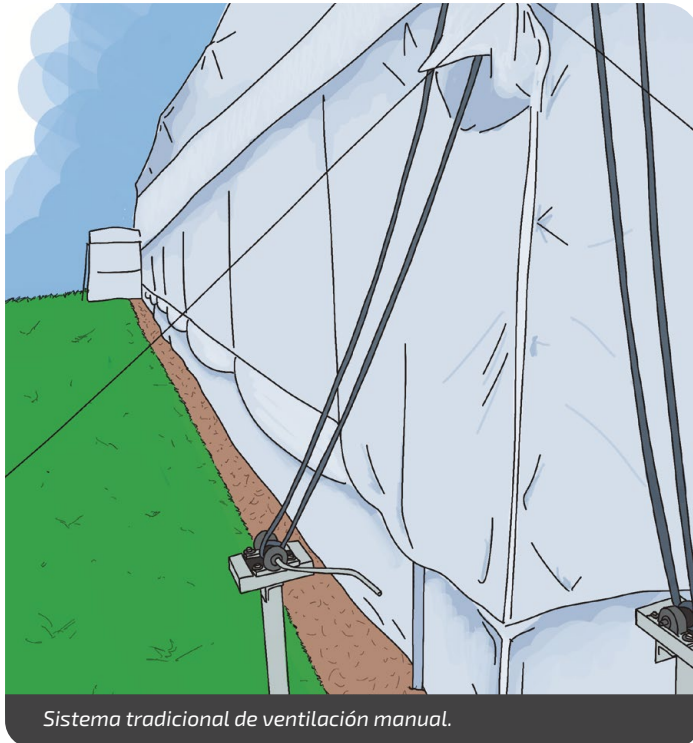
Los módulos de divulgación se pueden encontrar digitalmente en:



Módulo 2

Control Climático

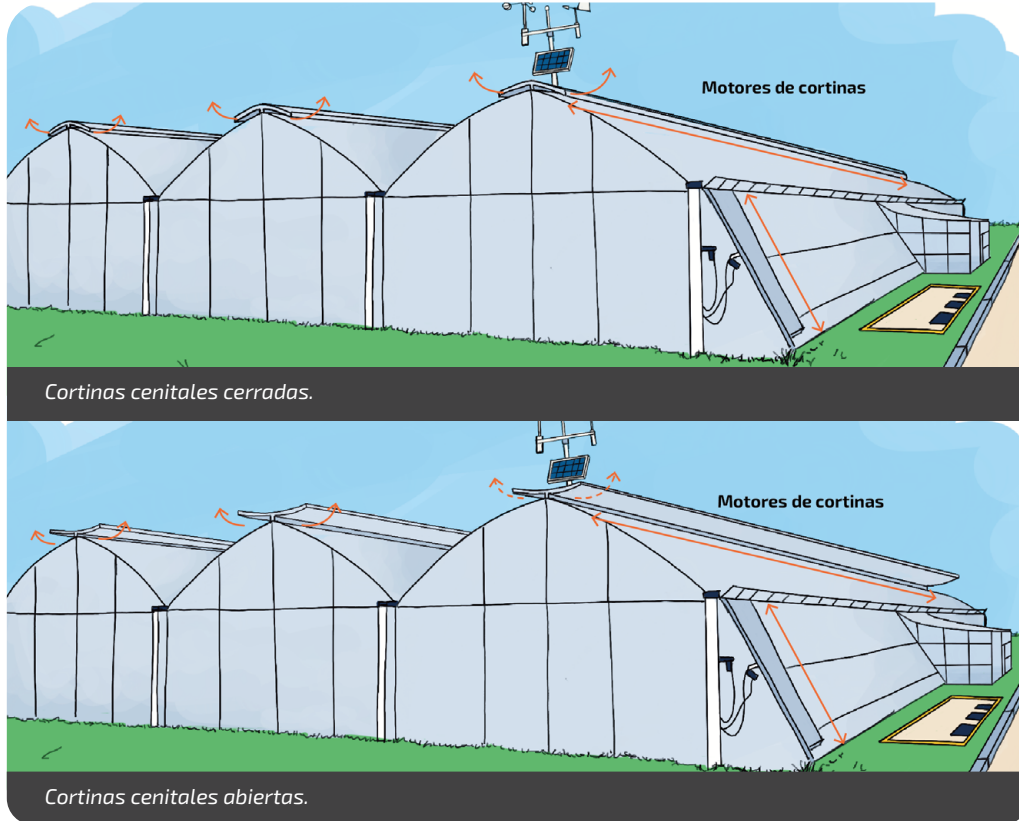
En los invernaderos tradicionales de tomate en Colombia, el control climático es limitado. La ventilación se realiza manualmente mediante la apertura de cortinas laterales y, en algunos casos, cenitales, **sin un criterio de manejo estandarizado.** Esto permite que las condiciones climáticas externas influyan significativamente en el **ambiente interno del invernadero**, afectando la estabilidad requerida para el óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas.



Sistema tradicional de ventilación manual.



En contraste, un **invernadero activo corrige las variables climáticas** en tiempo real, proporcionando un **ambiente más estable**. Este entorno favorece una **mejor tasa de crecimiento**, mejora la sanidad del cultivo y aumenta los rendimientos y la calidad de los frutos.



El invernadero de alta tecnología destaca por:

- Mayor **volumen de aire** dentro de la estructura.
- Amplia **superficie de ventilación** cenital y lateral.
- Incorporación de **ventiladores** de recirculación de aire.

Estos elementos permiten una **circulación de aire dinámica**, facilitando el control eficiente de temperatura y humedad relativa. Como resultado, las plantas permanecen activas, optimizan su transpiración y mantienen **condiciones ideales para su desarrollo**.





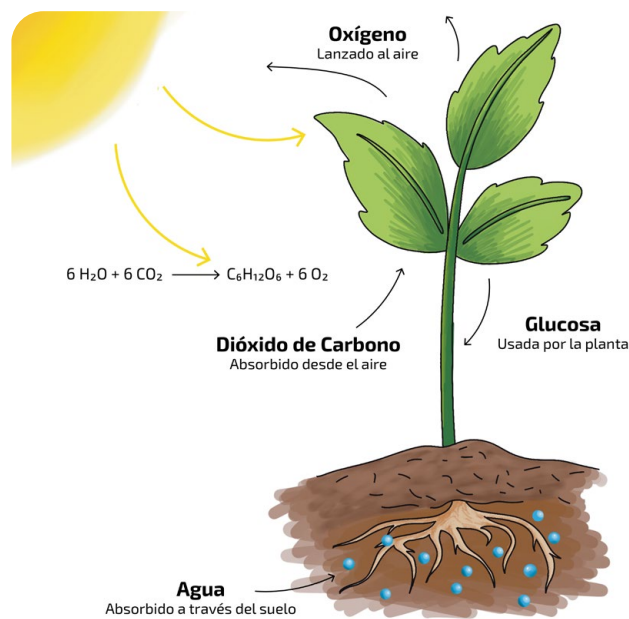
Con el objetivo de parametrizar la ventilación en el cultivo de tomate, **es clave considerar que las temperaturas óptimas para su desarrollo oscilan entre 22 - 29°C**, mientras que los umbrales extremos que limitan su desarrollo son inferiores a 10°C y superiores a 32°C. Además, el clima interno del invernadero está influenciado significativamente por los **procesos de fotosíntesis y transpiración de las plantas**, los cuales varían según la fase fenológica del cultivo. Por ejemplo, **un cultivo en etapas iniciales genera menor transpiración que uno en plena producción**, afectando la humedad relativa y las condiciones internas.



VS.



Las plantas jóvenes transpiran menos que las plantas en producción.



El primer paso hacia la automatización de la ventilación es realizar un análisis exhaustivo del clima local. Del análisis realizado para esta investigación, se identificaron cuatro periodos climáticos diarios:

Periodos climáticos representativos del clima local.

Parámetro	Periodo I 7 – 10 a.m.	Periodo II 10 a.m. – 2 p.m.	Periodo III 2 p.m. – 5 p.m.	Periodo IV 5 p.m. – 7 a.m.
Temperatura externa promedio	14.5°C	18.3°C	17.3°C	12°C
Temperatura interna promedio	18.9°C	22°C	20.2°C	15°C
Radiación (Watt /m²)	374	544	240	2
Radiación (Joules/m²)	244	970	599	26

Datos promedio CID, de enero de 2023 a octubre de 2024



En el clima de Funza, Cundinamarca, la temperatura diurna no suele ser un factor limitante, ya que bajo cubierta plástica se alcanza fácilmente. Sin embargo, **el principal desafío durante los periodos de mayor radiación es enfriar la estructura**, lo que se logra con una mayor altura del invernadero, ventanas laterales que faciliten el **flujo de aire** y ventanas cenitales que expulsen el aire caliente hacia el exterior.

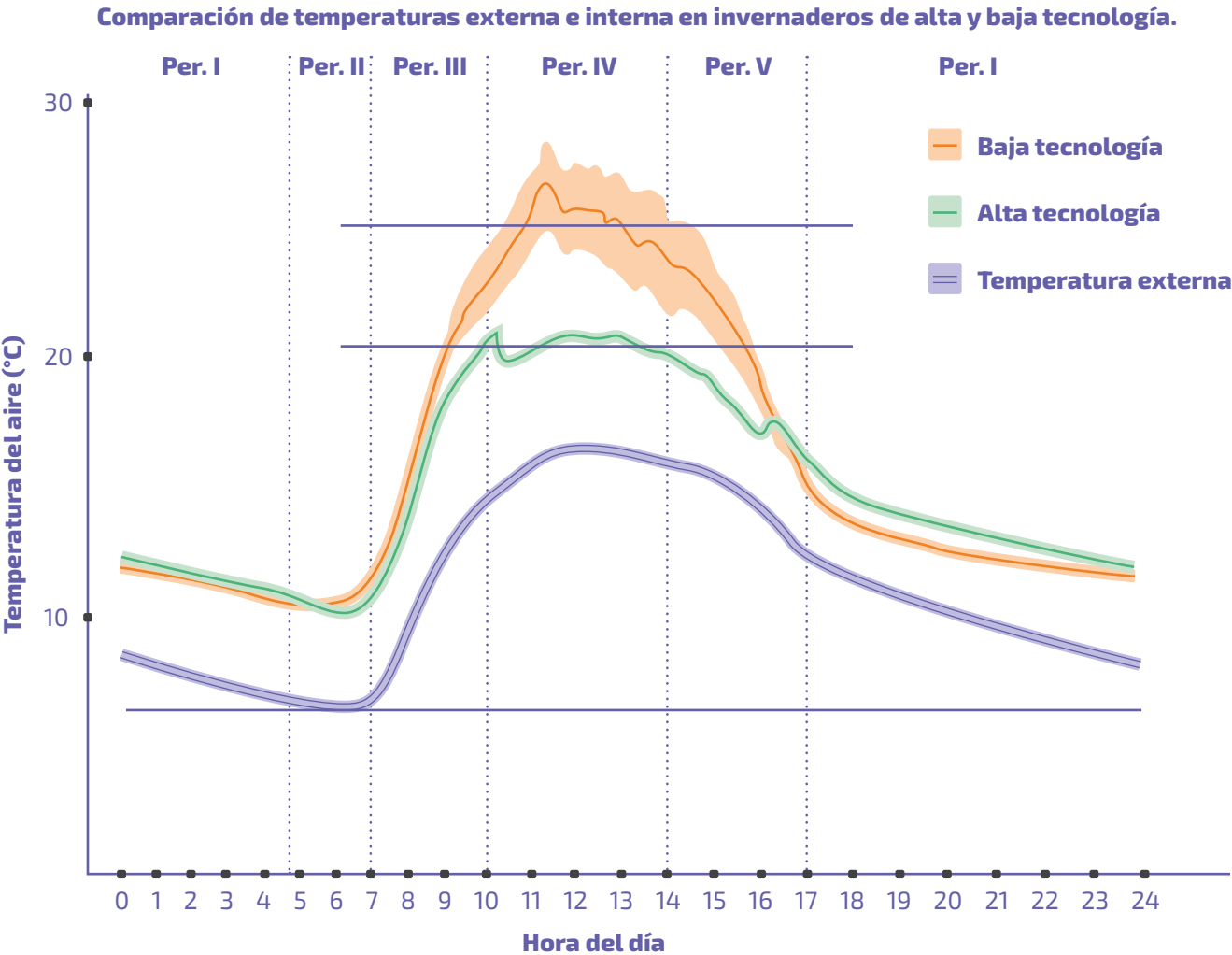
El **periodo II** es el de mayor temperatura debido a la elevada intensidad lumínica, acumulando aproximadamente el 54% de la energía diaria, con un promedio de 544 Joules/m². **Este periodo coincide con la máxima actividad fotosintética y transpiración de las plantas**, lo que exige estrategias de ventilación rigurosas para controlar la temperatura.



CID, Sáenz Fety en su punto más frío en la madrugada.

En contraste, el **periodo IV** se caracteriza por una **menor intensidad lumínica y temperaturas más bajas**, que pueden descender por debajo del umbral de desarrollo del tomate (<10°C) en campo abierto. Durante la noche, sin calefacción, **el invernadero acumula humedad y pierde temperatura gradualmente**, alcanzando el punto más frío alrededor de las 5:00 a.m. Esta combinación de baja temperatura y alta humedad relativa puede generar condensación. Para manejarla, se emplean estrategias como **reducir la humedad relativa, realizar ventilación nocturna, usar plásticos antigoteo con inflado de doble capa, implementar pantallas térmicas** y, en caso de disponibilidad, **calefacción**.

El **periodo I** es de transición, en el cual se busca activar las plantas aumentando gradualmente la temperatura. **Es fundamental ajustar la ventilación para evitar incrementos bruscos.** Por su parte, el **periodo III** también es de transición, orientado a reducir la humedad relativa y aumentar la temperatura para contrarrestar el **frío nocturno característico de la sabana de Bogotá.**



*Datos promedio de enero a diciembre de 2023



La gráfica comparativa muestra el comportamiento promedio de la temperatura dentro de un invernadero de alta tecnología frente a uno de baja tecnología y las condiciones externas.

Al analizar el comportamiento de la temperatura, se identifican ajustes clave en la **estrategia de ventilación** para mejorar las condiciones dentro del invernadero de alta tecnología. El primer ajuste consiste en reducir gradualmente la ventilación entre 10:00 a.m. - 4:00 p.m. para incrementar ligeramente la temperatura, dado que la estructura es altamente eficiente en ventilación. **El objetivo es mantener una temperatura promedio de 25°C durante este periodo.**

Otro ajuste importante se implementaría en el **periodo I**, entre las 7:00 a.m. y las 10:00 a.m., donde la ventilación debe ser más activa para permitir un **aumento gradual de la temperatura, evitando cambios drásticos.**

El ajuste más relevante, aunque con una inversión adicional, es la **implementación de calefacción** en un nuevo periodo de 12:00 a.m. - 6:00 a.m. Este ajuste tiene como fin **eleva la temperatura antes del amanecer**, reducir la humedad relativa y evitar la condensación. Además, **la calefacción generaría CO₂ adicional**, que podría ser almacenado y utilizado en momentos críticos, dado que **en invernaderos cerrados la concentración de CO₂ tiende a disminuir**, lo que afecta negativamente la tasa fotosintética de las plantas.



Las plantas que crecen en condiciones climáticas estables experimentan una producción más constante y predecible.



Un aspecto crucial en el control del clima del invernadero es el **déficit de presión de vapor (DPV)**. Se expresa en kilopascales (kPa) y relaciona la temperatura con la humedad. El rango óptimo para el cultivo de tomate oscila entre 0.5 y 1.4 kPa. Valores por debajo de este rango indican **alta humedad, menor transpiración y mayor probabilidad de enfermedades** como *Botrytis* o *Phytophthora*. Por el contrario, valores superiores a 1.4 kPa pueden sugerir que el aire está demasiado seco, lo que causa **transpiración excesiva, cierre estomático y deshidratación de las plantas**.



EL DPV (Déficit de presión de vapor) se define como la diferencia entre la presión de vapor del agua en el aire y la presión de vapor que el aire tendría si estuviera completamente saturado (humedad relativa = 100%).



Botrytis



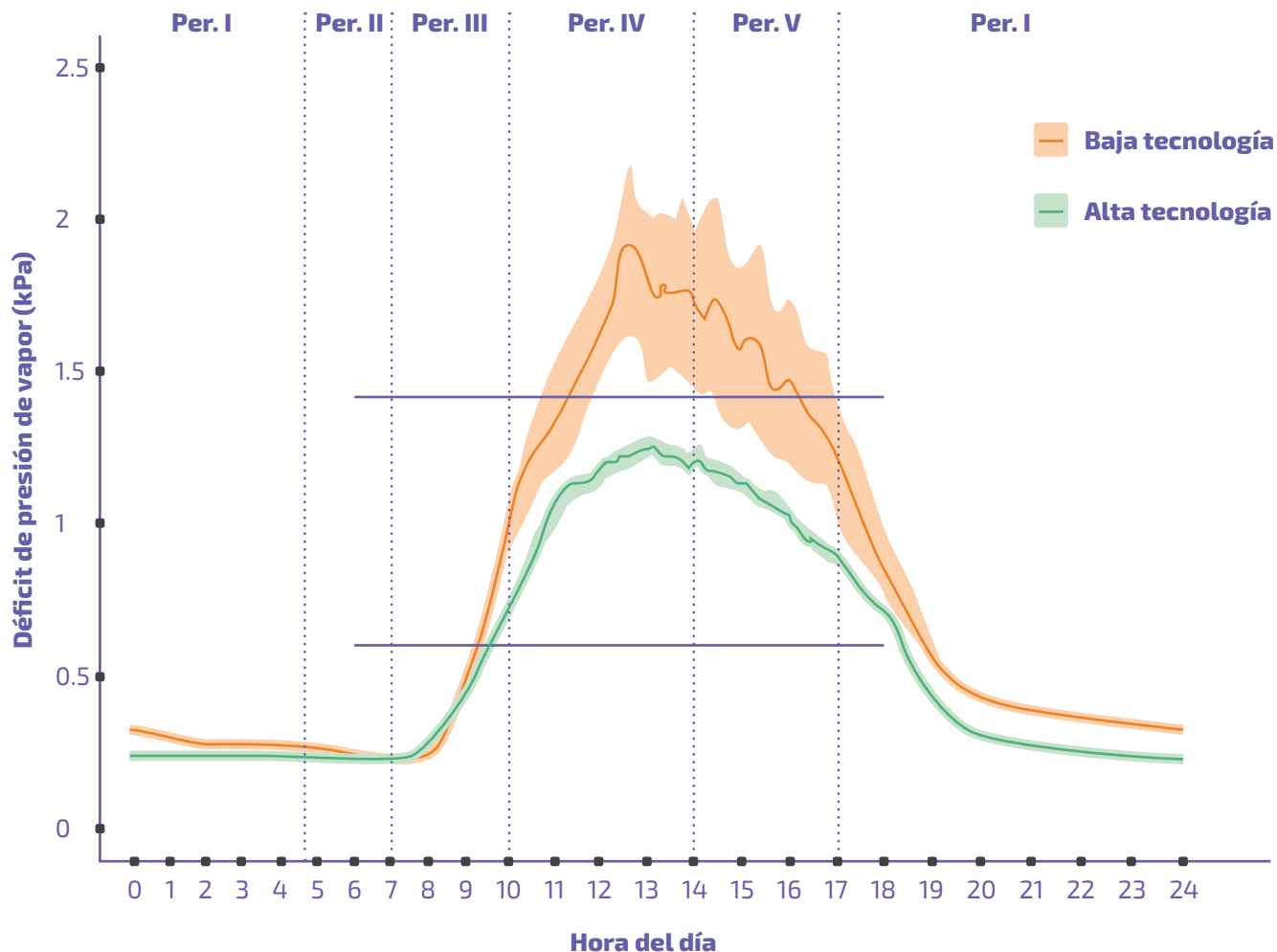
Phytophthora

Al observar la gráfica del comportamiento promedio del DPV durante los distintos periodos climáticos propuestos, se puede apreciar que en el **invernadero de alta tecnología se mantiene dentro de los rangos óptimos durante gran parte del día**.



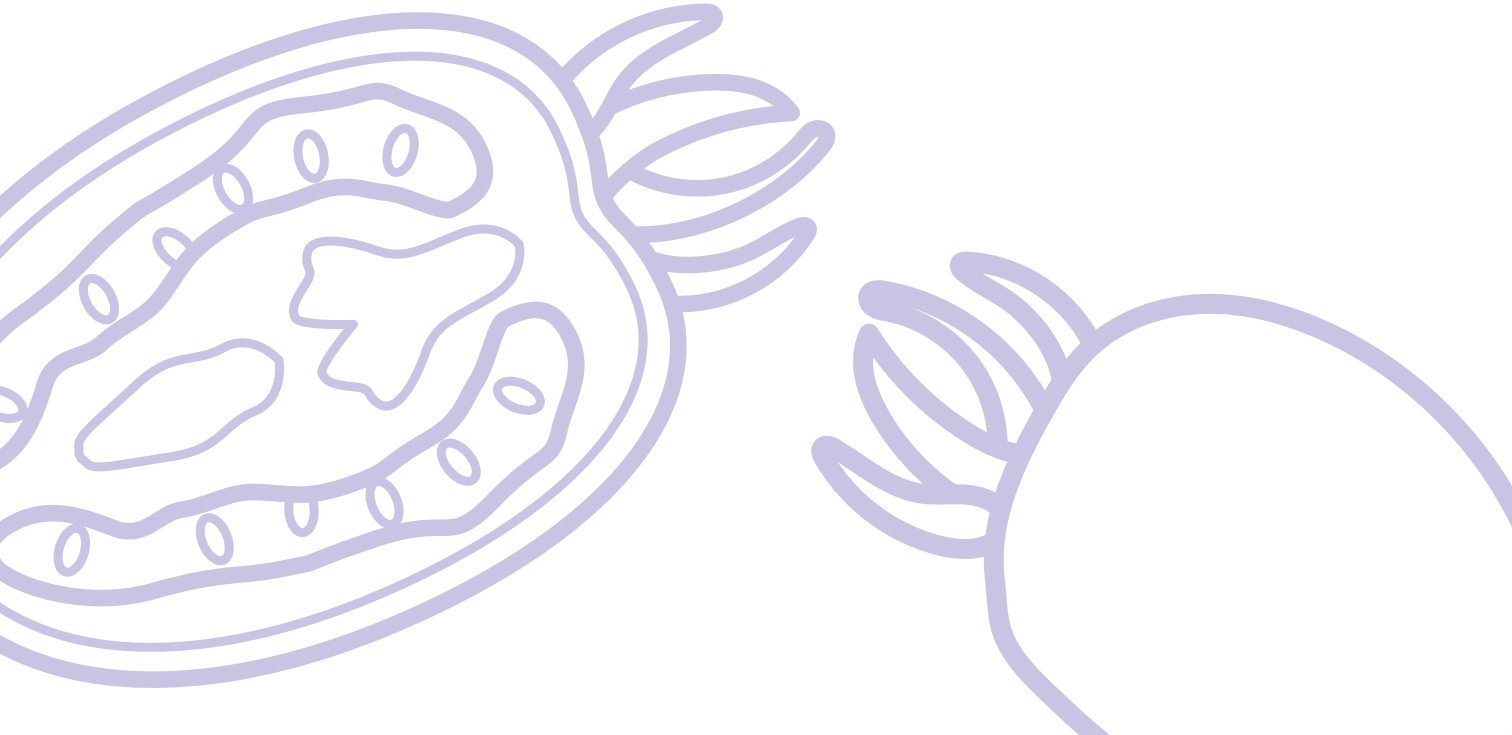
En contraste, en el invernadero de baja tecnología, durante el **periodo II** y parte del **periodo III** (10:00 a.m. - 3:00 p.m.), los valores superan los rangos ideales, lo que indica un **ambiente muy seco** que podría generar **estrés hídrico en el cultivo**.

Comparación del DPV en dos sistemas de producción de tomate.



Durante la noche, el amanecer y el inicio del **periodo I** (7:00 - 8:00 a.m.), los valores del DPV en ambos invernaderos son muy bajos, lo que indica **niveles elevados de humedad relativa y un alto riesgo de condensación**, especialmente en el invernadero tradicional, donde no se cuentan con **estrategias automatizadas para mitigar este riesgo**. Esto confirma que, en climas como el de la región, sería recomendable contar con calefacción en determinadas horas de la noche y el amanecer, con el fin de **mantener condiciones óptimas dentro del invernadero**.

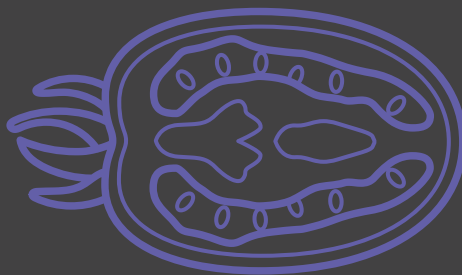
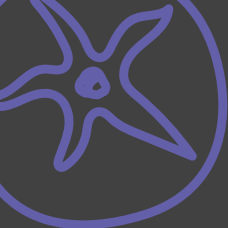
El control climático en invernaderos es un factor determinante para optimizar la producción de tomate en Colombia. **Los invernaderos de alta tecnología sobresalen al proporcionar condiciones más estables gracias a sistemas automatizados que regulan temperatura, ventilación y humedad relativa en tiempo real (calefacción y CO₂ son opcionales)**. Esto no solo mejora los rendimientos y la calidad de los frutos, sino que también **reduce riesgos asociados a enfermedades y estrés en las plantas**. Por el contrario, los invernaderos tradicionales enfrentan limitaciones significativas, donde las condiciones externas afectan directamente al cultivo, comprometiendo su desarrollo y productividad.





En el siguiente módulo se explorará en detalle el **Cultivo en sistema hidropónico en sustrato**, y se profundizará sobre las estrategias aplicadas en este avanzado sistema de producción.





Fecha de publicación: Diciembre de 2024

Encuentra todos los módulos de
divulgación digitalmente en:

