

# BOLETÍN DEL PROGRAMA NACIONAL SECTORIAL DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA BAJO AMBIENTES PROTEGIDOS

Año 1, número 5  
julio-agosto 2007



**2**

LA TÉCNICA DE DINÁMICA DE  
FLUIDOS EN AMBIENTES  
PROTEGIDOS

**4**

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE  
SÚSTRATOS. Parte III.

**7**

UN INSTRUCTIVO PARA AYUDAR  
A ORGANIZAR EL TRABAJO

**7**

MOSCAS BLANCAS Y VIRUS

**8**

INVESTIGACIÓN SOBRE  
CULTIVOS PROTEGIDOS EN EL  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE  
COSTA RICA

# LA TÉCNICA DE DINÁMICA DE FLUIDOS EN AMBIENTES PROTEGIDOS <sup>1</sup>.

Roberto Ramírez Matarrita  
Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de  
Tecnología Agropecuaria (INTA)  
[betomatarrita@costarricense.cr](mailto:betomatarrita@costarricense.cr)

Por medio de un software para el diseño geométrico de fluidos para acoplamiento (Gambit) y la transmisión de datos al software FLUENT (CFD), programa para simular flujos de fluidos, transferencias de calor, turbulencias, reacciones y flujo polifásico., es posible analizar virtualmente diferentes factores ambientales para evaluar el diseño de un módulo de ambiente protegido.

Para realizar una experiencia con base en la técnica de dinámica de fluidos (CFD) para la evaluación de factores ambientales en invernadero, se seleccionó una estructura localizada en la comunidad del Nispero de Cañas, Guanacaste, con una área de 315 m<sup>2</sup> (15 m de ancho x 21 m de largo y 4,5 m de altura a la canoa, con una apertura cenital de 1,2 m).

## Caso 1. Evaluación de la condición de viento.

Se simuló una velocidad de viento de 7 m/s, en sotavento (dirección izquierda-derecha), una barrera rompevientos a 10 m de distancia del invernadero. Las paredes de ambos lados del invernadero y los tres monitores presentaron una permeabilidad al movimiento del aire correspondiente a una malla anti-áfido de 50 mesh.

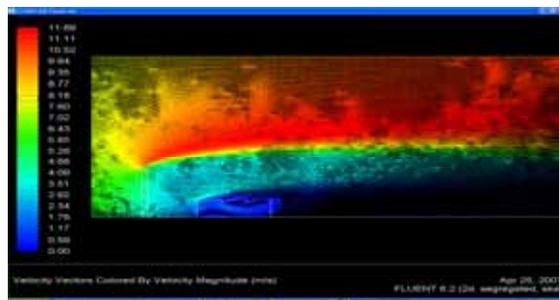


Figura 1. Invernadero "Guanacaste 1".  
Evaluación condiciones de movimiento de aire.

En la figura 1, se observan las diferentes velocidades de los vectores en el dominio del invernadero. En la parte izquierda de la figura se aprecia la escala con los rangos de velocidad del viento y su dinámica en el interior y exterior de la estructura del invernadero. Analizando esta información podemos entender como la velocidad del viento disminuye de 7 m/s a 3 m/s al pasar por la cortina rompevientos y al ingresar por la pared izquierda del invernadero la disminución del flujo de aire llega ha alrededor de 1 m/s, observándose una alta cantidad de volumen de aire que se escapa por el monitor número 1.

## Caso 2. Evaluación de la temperatura y velocidad de viento.

En este caso se simuló una velocidad de viento de 5 m/s ingresando en sotavento, con una temperatura ambiental de 35 C° y una energía llegando al suelo, en radiación de 500 watts/m<sup>2</sup>, (por que no hay cultivo, si hubiese cultivo sería por el rango de 200 a 250 watts/m<sup>2</sup>). Además el diseño del invernadero presentaba una barrera impermeable de un metro de altura a partir del suelo.



<sup>1</sup> Resultado de pasantía en el Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Cataluña en Barcelona, España, durante el periodo comprendido del 9 de abril al 5 de mayo del 2007

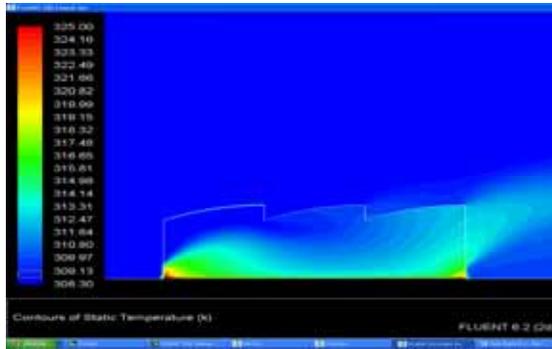


Figura 2. Evaluación de la temperatura y movimiento del aire en FLUENT 6,2, con todas las ventanas cenitales abiertas.

Bajo las condiciones antes descritas, se pudo observar como la temperatura externa del invernadero se mantuvo cercana a los 35 C°. En el interior del invernadero en la primera nave ocurrió un salto térmico en los primeros dos metros de altura de 8 C°, disminuyendo en la parte superior del invernadero por efecto del movimiento del aire que sale por el monitor número uno. En la nave número dos se logró apreciar como el flujo de aire tuvo mayor movilidad, sobre todo por que la poca salida de aire por el monitor 2 ya que se generó una especie de turbulencia, disminuyendo el salto térmico ha 4 C°, en el primer metro de altura con respecto a la temperatura externa. En la nave 3, debido a factores aerodinámicos del diseño del invernadero, se generó un arrastre de aire caliente proveniente de la nave número 2, ocurriendo un salto térmico próximo a los 5 C°.

### Caso 3. Utilización de deflector en la pared izquierda del invernadero, con cultivo.

Se simuló una condición de invernadero con una velocidad de viento de 5 m/s, en sotavento, con una temperatura de 35 C° y una radiación llegando al suelo de 250 watts/m<sup>2</sup>, colocándose un deflector (alero interno) en la pared izquierda del invernadero a 3,5 m de altura, con una plantación de tomate de 2 m de altura y una distancia entre pared y el cultivo de 1,5 m.

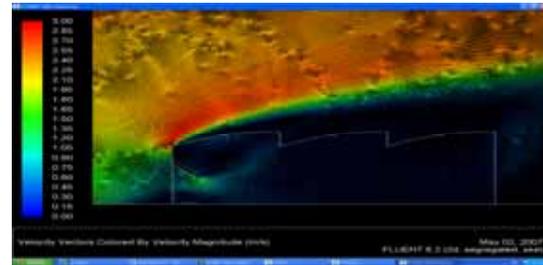


Figura 3. Utilización de deflector y su efecto en la aerodinámica dentro del invernadero.

Como ocurrió en los casos anteriores, la cortina rompevientos amortiguó considerablemente la velocidad del viento antes de ingresar al invernadero. La intención de colocar un deflector en la estructura es que funcione como un "cuello", para aumentar la velocidad del flujo de aire interno. En la figura 3, se observa como el aire que ingresó por la pared izquierda aumentó su velocidad en 1 m/s al pasar por el deflector, pero al entrar en contacto con el cultivo, que en este caso se simuló como un bloque de pared porosa, la corriente de aire tendió a moverse hacia la parte superior del módulo.

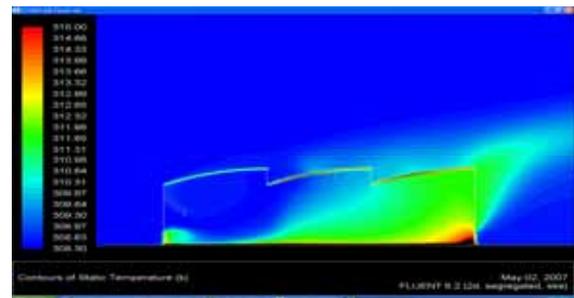


Figura 4. Utilización de deflector y su efecto termodinámico dentro del invernadero, con cultivo.

En la figura 4, se nota claramente como el aumento en la velocidad del flujo de aire al pasar por el deflector, arrastró el aire caliente hacia las naves 2 y 3, dándose un salto térmico de 2 C° en la nave 2 y 4 C° en la nave 3. Hay que destacar que la presencia de una barrera porosa, en este caso la simulación del cultivo a 2 m de

altura, disminuye el movimiento de fluidos dentro del invernadero y por consecuencia se da un aumento en temperatura en las naves que presentan menor circulación de aire.

#### Caso 4. Utilización de deflector en la pared izquierda del invernadero, sin cultivo.

Para esta situación se eliminó el bloque poroso que simulaba el cultivo para compararlo con el caso número 4, donde sí estaba presente, siendo ésta la única diferencia entre ambos.

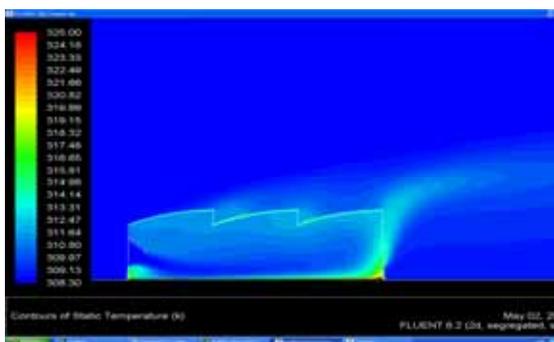


Figura 5. Utilización de deflector y su efecto termodinámico dentro del invernadero, sin cultivo.

Comparando el caso 3 con el 4, en este último se evidencia un aumento en la circulación de aire por las tres naves del invernadero al pasar por el deflector sin la presencia del cultivo. Prácticamente el salto térmico alcanzó 3 C° en los dos primeros metros de altura en las naves 2 y 3. Además en la parte superior cercana al techo de la estructura, el aire más caliente, por

diferencia de densidad, sale por las ventanas cenitales del invernadero. Esta simulación permitió entender la importancia de la orientación de los cultivos para no crear barreras que disminuyan el flujo de aire y por consiguiente saltos térmicos muy elevados.

#### Comentario final

Los software gambit y FLUENT son herramientas tecnológicas que ayudan a entender la dinámica del ambiente dentro y fuera de los invernaderos con el fin de mejorar las condiciones internas para el desarrollo óptimo de los cultivos. Esta herramienta puede ser de mucho provecho para nuestro país, sobre todo por la diversidad de zonas de vida que imperan en nuestro territorio, lo que produce diferencias de microclima dentro de los invernaderos de una zona a otra. La licencia de este programa tiene un valor para Europa de € 3000 por año, pero para América un link tiene un costo de € 1500 por año instalándose en dos computadoras. Integrando un equipo calificado en el periodo de un año los alcances que se lograrían mediante la simulación de situaciones dentro de invernaderos con diferentes parámetros ambientales sería muy significativo, adaptando innovaciones en las estructuras para mejorar la circulación del aire y disminuir las fluctuaciones de temperatura, el cual es uno de los principales problemas en zonas tropicales.

## EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE SUSTRATOS. Parte III.

Freddy Soto Bravo  
Instituto Nacional de Aprendizaje - INA  
[fsotoina@costarricense.cr](mailto:fsotoina@costarricense.cr)

material, determinan la capacidad de retención de humedad y la capacidad de aireación de un sustrato, por lo que es necesario un buen balance de macro y microporos que garanticen una adecuada aireación y retención de humedad, respectivamente.

**L**a granulometría (distribución del tamaño de partículas) y el tipo de

Los sustratos están compuestos por partículas de diferentes tamaños; sin embargo, según Ansorena, (1994) la

fracción más determinante en las propiedades físicas de los sustratos es el tamaño de la partícula comprendido entre 0,1 y 1,0 milímetros.

El parámetro utilizado para expresar la distribución del tamaño de las partículas es el Índice de Grosor (IG). Este se define como el porcentaje acumulado en volumen de partículas de diámetro superior a 1 milímetro (Ansorena, 1994). Se espera que a mayor IG, o sea, mayor porcentaje de partículas de diámetro mayor a un milímetro en el sustrato, mayor capacidad de aireación y menor retención de humedad. Una mayor proporción de partículas grandes aumenta el contenido de macroporos y disminuyen los microporos, aumentando el drenaje y disminuyendo la retención de humedad.

Por otra parte, un bajo IG, esto es, menor porcentaje de partículas gruesas > 1 mm y mayor porcentaje de partículas finas < a 1mm, afecta drásticamente la capacidad de aireación y aumenta la retención de agua en el sustrato. Esto es lo que sucede cuando se mezcla materiales gruesos con muy finos, ante lo cual se debe tener cuidado, ya que partículas finas se alojan en los espacios entre partículas (macroporos) obstruyéndolos, reduciendo la capacidad de aireación y aumentando la retención de humedad. Una alta proporción de partículas pequeñas disminuye la aireación, aumentan la cantidad de microporos y consecuentemente la retención de humedad, hasta afectar las raíces por falta de oxígeno.

Cuando se adquieren materiales que no tienen un tamaño de partícula estándar o conocido y que presentan una gran variabilidad en la proporción de los diferentes tamaños de partículas, es muy difícil estandarizar las propiedades físicas del sustrato. Por esta razón, si seleccionamos el tamaño de partícula a través de tamices, según el sistema de cultivo, en un rango menor de variación de tamaños y un conocido índice de grosor (IG), por ejemplo el caso de maceteros, entre 0,25 y 3 milímetros, habrá mayor estabilidad y

estandarización de las características físicas. Esto a su vez permite, mejorar el manejo del riego y la nutrición.

Las determinaciones de laboratorio junto con la experiencia y observación diaria del comportamiento de los sustratos en el campo de cultivo, nos permiten aproximarnos al paradigma del "sustrato ideal", lo cual no es fácil en la práctica. Según Urrestarazu (2003) el mejor sustrato es aquel material de textura media a gruesa, con una distribución de tamaño de partículas de entre 0,25 y 2,5 milímetros, el cual retiene suficiente agua fácilmente disponible y tiene una adecuada aireación.

A continuación se calcula el riego por tiempos, de acuerdo con las propiedades físicas de la mezcla de cascarilla de arroz más fibra de coco 1:1, caudal del gotero y consumo diario por planta.

1- Según la fórmula 5 se calculó el agua total disponible (ATD) de 40 litros sustrato por saco de cultivo es 12,78 litros de agua.

2- De esta ATD se permite un % de agotamiento de un 7 a 10% (Urrestarazu, 2003) =  $12,78 \text{ L} \times 0,09 = 1,15$  litros es lo que se permite evapotranspirar del saco de 40 litros para efectuar el siguiente riego.

3- Según Casanova *et. al.* (2003) el consumo promedio diario de agua para una planta de tomate en la etapa II (inicio floración al tercer racimo) en condiciones de verano normal es de 0,6 a 0,7 litros:

El consumo diario para 6 plantas por saco de 40 litros:

✿ 0,7 litros x 6 plantas: 4,2 litros por saco por día.

4- La cantidad de riegos por día es:

$\frac{4,2 \text{ litros}}{1,15 \text{ Litros}} = 3,65$  riegos diarios = 4 riegos.

5- Volumen de riego aplicado: es la suma del % de agotamiento del ATD + % de

drenaje establecido. Este depende de la calidad del agua de riego, y oscila entre 10 y 30%. Suponiendo que el agua es de buena calidad, se utilizara un drenaje de 10%:

- Por saco de cultivo: 1150 mililitros + 115 mililitros (10% drenaje)= 1265 ml/riego/saco.
- Por gotero: cada saco tiene tres goteros, uno por cada dos plantas:

$$\frac{1265 \text{ ml}}{3 \text{ goteros}} = 422 \text{ ml}$$

6- Duración del riego según volumen de agua a aplicar por gotero por riego (422 ml) y el caudal del gotero (4025 ml/hora):

$$422 \text{ ml} \times 60 \text{ min} = 7 \text{ minutos aproximadamente } 4025 \text{ ml.}$$

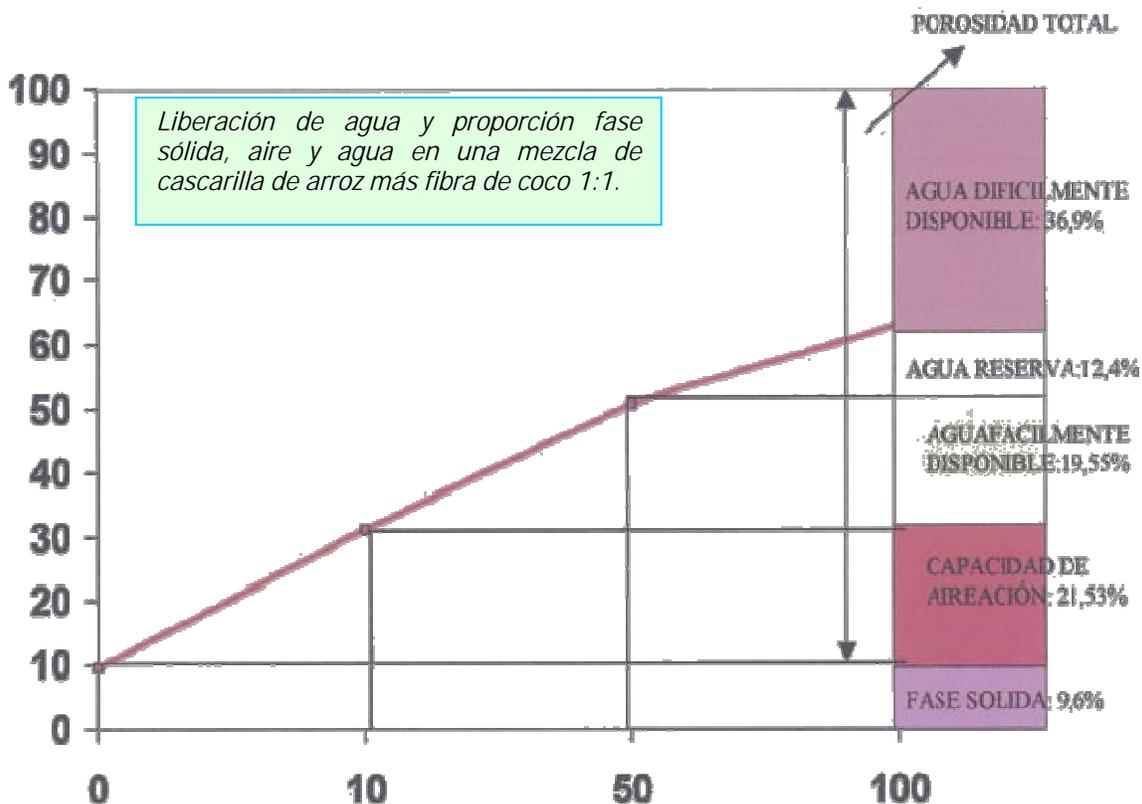
En condiciones normales de luz solar, para un cultivo de tomate en su etapa II, con un consumo medio diario de 700 ml/ planta, se aplicaran 4 riegos diarios de 7 minutos. De acuerdo con las características físicas del sustrato, 40 litros de este colocado en un contenedor almacena 12.78 litros de agua total disponible.

De esta se permite evapotranspirar 1115 litros, momento en el cual se procede a efectuar el riego para reponer el agua gastada.

El procedimiento anterior constituye un ejemplo de programación del riego a tiempos asociado al sustrato, con 4 riegos diarios de 7 minutos cada uno, es un programa fijo que generalmente se ejecuta con un programador de riego.

Hasta aquí conocemos cuanto regar, (volumen a aplicar por riego), pero no se sabe con exactitud cuando volver a regar (frecuencia de riego).

Esto último se debe a que la cantidad de agua evapotranspirada por la planta depende del clima (radiación solar, humedad ambiental, temperatura y vientos) y de la etapa fenológica del cultivo. Así, en un día nublado, puede ser suficiente uno o dos riegos diarios, mientras que un día de alta luminosidad y temperatura el consumo de agua puede duplicarse. Por tanto, la experiencia y observación diaria del fertiriego en cultivo sin suelo es de vital importancia.



## UN INSTRUCTIVO PARA AYUDAR A ORGANIZAR EL TRABAJO.

Francisco Marín Thiele  
Gerente del ProNAP  
[framathi@costarricense.cr](mailto:framathi@costarricense.cr)

Una de las acciones de mayor importancia para los productores en la actualidad, es el registro de sus actividades. Esto puede proveer de valiosa información ante el análisis de su eficiencia, costos y posibilidades de expansión.

Más aún, los mismos procesos de comercio han centrado su atención en varios principios relacionados con la higiene de alimentos. De esta forma, la normativa internacional requiere aplicaciones para formalizar el trabajo y establecer trazabilidad.

En apoyo a esas necesidades, se elaboró una herramienta afín con las

posibilidades de pequeños productores de hortalizas bajo ambiente protegido. Consiste en un instructivo que pretende brindar orientación sobre el sistema para normar actividades productivas en este sistema de trabajo.

Consta de doce capítulos y nueve registros más los anexos. Se pretende que sea empleado para promover una asimilación gradual de las disciplinas de trabajo. Esto, llevado al productor en forma ordenada, dirigida, facilitaría su incorporación en procesos normativos más serios como la opción de certificación.

El documento puede consultarse en la siguiente dirección electrónica: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/pronap-inver.pdf>, o en su dirección original como Guía Técnica número 9 elaborada por el Área Poscosecha del Consejo Nacional de Producción [http://www.cnp.go.cr/php\\_mysql/admin/KT/ML/uploads/files/boletines/Manual\\_invernaderos.pdf](http://www.cnp.go.cr/php_mysql/admin/KT/ML/uploads/files/boletines/Manual_invernaderos.pdf)

---

## MOSCAS BLANCAS Y VIRUS.

Luko Hilje Quirós  
Consultor Privado  
[luko@ice.co.cr](mailto:luko@ice.co.cr)

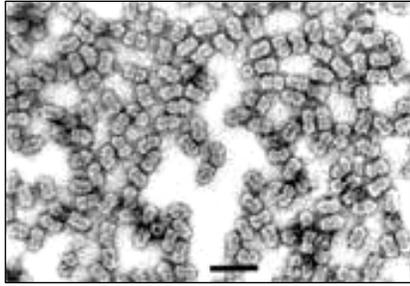
Las moscas blancas, al igual que sus parientes (chicharras, chicharritas, áfidos, cochinillas y escamas), tienen un aparato bucal perforador-chupador, parecido a una aguja hipodérmica. Es así como pueden punzar las hojas y extraer su savia. Pero, si una planta está enferma con virus, toman las partículas virales y las inyectan a plantas sanas, dándose epidemias virales.

Por fortuna, *Trialeurodes vaporariorum*, que es la especie más frecuente en invernaderos, transmite pocos tipos de virus, llamados crinivirus (familia

*Closteroviridae*). En cambio, *Bemisia tabaci* puede transmitir más de 200 tipos de virus, mundialmente. De ellos, los geminivirus o begomovirus (familia *Geminiviridae*) son los más serios, por multiplicarse en el floema (donde están los principales nutrimentos) de la planta. En experimentos realizados en Costa Rica con plántulas de tomate, se observó que en menos de 24 horas ya los virus se han reproducido en forma masiva e invadido toda la planta.

Asimismo, debe tenerse en cuenta que *B. tabaci* es muy seria como vector de virus, pues con densidades tan bajas como **0,3 adultos/planta** (es decir, un adulto por cada tres plantas) todas las plantas de un campo de tomate resultan infectadas con virus. Y, esto sería aún más serio en invernaderos, donde las plantas están más concentradas que en el campo, y donde los adultos tienen condiciones menos adversas

(ausencia de lluvia y de vientos fuertes) para actuar.



Por tanto, lo clave para su manejo es impedir por completo que ingresen adultos virulíferos (portadores de virus) en los invernaderos y, si entrasen, recurrir a métodos que permitan capturarlos o matarlos antes de que inoculen los virus en las plantas. A varios de estos útiles métodos dedicaremos algunos artículos en el futuro.

## **INVESTIGACIÓN SOBRE CULTIVOS PROTEGIDOS EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA.**

**Milton Solórzano Quintana**  
Director Escuela Ingeniería Agrícola  
[msolorzano@itcr.ac.cr](mailto:msolorzano@itcr.ac.cr)

**"P**roducir conservando y conservar produciendo" fue el lema que utilizó una política gubernamental con que el Instituto Tecnológico de Costa Rica se identificó, ya que incluía un concepto de sostenibilidad en la producción agropecuaria con acciones concretas como manejo de recursos renovables, producción en armonía con el ambiente, agro y ecoturismo, agricultura orgánica y ecoagricultura, innovación de productos y procesos amigables ambientalmente, entre otras acciones específicas.

Se visualizó como meta la generación de actividades productivas eco-amigables, mayor beneficio por aumento del valor agregado a la producción agropecuaria, diversificación de la base productiva, oportunidades de desarrollo en el medio rural y mayor seguridad alimentaria entre otras y se postuló entre las tareas para lograr la ejecución de dichas acciones, realizar investigación que sea transferida a los productores en manejo de cultivos en condiciones controladas.

Los sectores empresariales que están asociados con la Cámara Nacional de Agricultura, establecieron que los principales

problemas que se tienen en el sector agropecuario son la poca investigación vinculada estrechamente con los productores, la escasa capacitación de los recursos humanos, la ausencia de programas de reconversión integrales y de largo plazo y los problemas organizativos del sector público agropecuario, por lo que ente las principales demandas que plantean, está el diseño de estrategias de desarrollo agroindustrial, y promoción de programas de reconversión productiva que apoyen y mejoren al sector en materia de investigación y tecnología.

En este marco, la Escuela de Ingeniería Agrícola, desde el año 1997 ha venido investigando sobre la producción de hortalizas en condiciones protegidas haciendo uso principalmente de un invernadero metálico con un área de 680 m<sup>2</sup>, con una ventana cenital de 60 centímetros y con malla anti-insectos en los costados.



Las investigaciones se iniciaron con la siembra de chile dulce regado por goteo y microaspersión y con la experiencia adquirida en esta primera etapa, en el año 1998 se sembró tomate utilizando riego por

goteo y con dos tipos diferentes de coberturas plásticas. Posteriormente se llevó a cabo un proyecto para la evaluación de la producción de chile dulce (híbrido Master 714), mediante riego por goteo con tres agotamientos de humedad y tres tipos de coberturas plásticas.

En el año 2002 se inició el proyecto "Evaluación de la producción de tres híbridos de chile dulce con dos dosis de fertilización, en dos tipos de invernaderos", en el que además del invernadero metálico descrito se utilizó un invernadero de madera con características similares, el cual concluyó en el año 2005, para dar inicio al proyecto "Evaluación de la producción de tres híbridos minivegetales en ambientes protegidos", cuyos resultados fueron presentados en el año 2006 y dieron paso al inicio en el presente año del proyecto "Producción de melón bajo invernadero", aún en ejecución.



Cada uno de estos proyectos ha generado un conjunto de conclusiones que han sido transferidas a diferentes agricultores de diferentes lugares del país.

La experiencia recopilada permitió que se ejecutara el proyecto "Asesoría de producción en ambientes protegidos" a tres

grupos beneficiarios en Plaza Vieja de Pejibaye, Bella Vista en Guápiles y en Tablón de El Guarco en Cartago.



La escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica procura de esta forma cumplir con el mandato que esta nación ha establecido a los centros de educación superior, que además de formar profesionales en el campo tecnológico que aúnen al dominio de su disciplina una clara conciencia del contexto socioeconómico, cultural y ambiental en que la tecnología se genera, transfiere y aplica, deben generar, adaptar e incorporar, en forma sistemática y continua, la tecnología necesaria para utilizar y transformar provechosamente para el país sus recursos y fuerzas productivas y contribuir al mejoramiento de la calidad de vida del pueblo costarricense mediante la proyección de sus actividades a la atención y solución de los problemas prioritarios del país, a fin de edificar una sociedad más justa.

---

Código **APB-05**

Este Boletín ha sido elaborado por la Gerencia del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola en Ambientes Protegidos, adscrito al despacho del Ministro de Agricultura y Ganadería de Costa Rica a través de la Dirección de Programas Nacionales. Pretende proveer a los usuarios información relacionada con los diversos sectores de la producción agrícola bajo ambientes protegidos. Las contribuciones son responsabilidad de sus autores y no necesariamente implican una recomendación o aplicación generalizada. Para más información, dirijase a los colaboradores o bien comuníquese por medio de los teléfonos (506) 232-1949, (506) 257-9355 - extensión 336 o (506) 433-9111 -extensión 3707.

*Edición: F. Marin*