

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

Año 4 (número 22)  
Mayo-Junio de 2010



**2** Manejo de cultivos en invernaderos con altas temperaturas

**7** Exploración, conocimiento y beneficio

# MANEJO DE CULTIVOS EN INVERNADEROS CON ALTAS TEMPERATURAS

Boaz Guy

Agrónomo de la División de Invernaderos de NETAFIM

El artículo fue enviado por Niv Dardik, Gerente de la División de Invernaderos de Netafim para América Latina, a quien debe dirigirse la correspondencia: [niv.dardik@netafim.com](mailto:niv.dardik@netafim.com)

**H**ablando de producción de hortalizas, la ventaja que tienen los países en Centro y Sudamérica se encuentra en sus inviernos cálidos. La baja o nula necesidad de calentar el invernadero en invierno les permite producir en fechas de alto precio a menor costo comparado con USA y Canadá. El clima cálido se convierte en una desventaja en los meses de calor al inicio o al final de la temporada. Para tener producción a principio de octubre hay que plantar a mediados de julio y es cuando hace calor. La planta joven tiene poco follaje, transpira poco y por lo tanto no puede mejorar las condiciones ambientales en el invernadero como lo hace una planta grande.

El calor en el final del ciclo debilita la planta, las flores no cuajan bien por falta de fertilidad de polen o por baja humedad relativa; los tamaños de los frutos se reducen y se presentan problemas fuertes de "Blossom End Rot", la pudrición apical.

Por el hecho que la inversión en un invernadero es muy fuerte, es importante

poder aprovechar el invernadero al máximo y hacer ciclos largos, cruzando también épocas de calor sin perder calidad y rendimiento. Las condiciones climáticas tienen un efecto fuerte y rápido sobre el desarrollo de la planta. Por lo tanto hay que tener herramientas para poder responder a los cambios climáticos y mejorar el clima dentro del invernadero.

## ***El dilema: fotosíntesis contra transpiración***

En condiciones de calor la planta enfrenta un dilema; por un lado necesita abrir sus estomas para absorber CO<sub>2</sub> y convertirlo en azúcar mediante la fotosíntesis, y a su vez no quiere perder tanta agua por la transpiración. El diferencial de concentraciones que motiva la transpiración es 50 veces más grande que el diferencial que motiva la asimilación del CO<sub>2</sub>, además el tamaño de las moléculas es diferente. La molécula del CO<sub>2</sub> es más grande que la del H<sub>2</sub>O. Por lo tanto, cuando la planta abre sus estomas, por cada molécula de CO<sub>2</sub> que consume, pierde 500 de agua.



Si la pérdida de agua es más rápida que su suministro a través de la raíz, llega un momento en que la planta cierra parcialmente o totalmente sus estomas, baja la fotosíntesis y mejora su condición hídrica. La planta decide sus prioridades: es más importante sobrevivir que producir.

Esta situación de estrés se va a reflejar en producción. Menor producción de azúcar es menor "dinero" para crecimiento foliar y radicular y para producción. Como productores tenemos que asegurar que la planta no se estrese a tal grado que llegue a cerrar sus estomas, porque si castigamos a la planta, nos va a castigar en producción.

La transpiración de agua por la planta es un proceso muy importante. Le permite a la planta enfriarse y no quemarse por el calor del sol. Además, le permite a la planta mover agua y nutrientes desde la raíz hacia arriba. Las moléculas del agua están conectadas una con la otra en conexiones eléctricas, así que cuando una molécula de agua se evapora, jala la otra hacia arriba.

La transpiración de agua depende de las condiciones climáticas. La alta temperatura, la alta intensidad de luz y el viento aceleran la transpiración mientras que la alta humedad la desacelera. La transpiración acelerada tiene varios efectos negativos:

- aumenta la CE o la salinidad alrededor de la raíz,
- aumenta el flujo de agua hacia las hojas grandes y reduce su flujo hacia la cabeza, lo que provoca un tallo delgado con bajo potencial de producción,

- aumenta el flujo del calcio hacia las hojas grandes y reduce su flujo hacia los frutos, lo que resulta en Blossom End Rot o pudrición apical.

La transpiración de vapor de agua por el follaje depende en dos factores principales: la capacidad del aire en absorber vapor y la resistencia a la difusión.

Para evaluar esta capacidad de absorber agua se usa el valor del DPV, Déficit de Presión de Vapor. Se calcula el déficit entre la presión máxima de vapor en el aire en una temperatura determinada y la presión actual del mismo aire utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{DPV en KPa} = \text{Presión máxima de vapor en saturación en KPa} \times (1 - \text{HR}/100)$$

Mayor temperatura significa mayor capacidad de contener vapor o mayor presión máxima en saturación lo que resulta en mayor DPV; menor humedad relativa significa mayor DPV y mayor transpiración. La resistencia a la difusión se forma por dos razones: la apertura del estoma y el grosor de la capa húmeda del aire pegada a la hoja.

La abertura de los estomas depende de la existencia de luz, la concentración de CO<sub>2</sub> en el estoma y del estado hídrico de la planta. El estoma es un mecanismo activo que le permite a la planta responder a las condiciones de luz, agua y CO<sub>2</sub>. En la noche cuando no hay luz, la planta minimiza la abertura de los estomas, para minimizar la pérdida de agua y a su vez permitir el intercambio de

los gases en la respiración (entrada de oxígeno y salida de CO<sub>2</sub>). En la mañana cuando sale el sol la planta abre sus estomas para aprovechar los altos niveles de CO<sub>2</sub> y los deja abiertos mientras no se estresa por falta de agua.

La otra resistencia es por la capa del aire pegada a la superficie de la hoja llamada en inglés "Boundary layer" (figura 1)

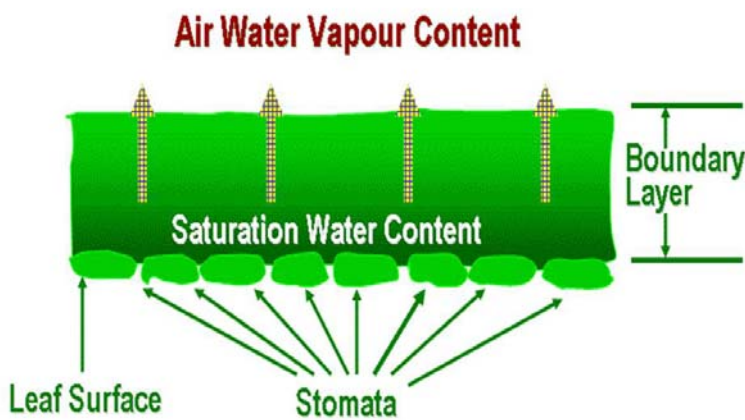


Figura 1. capa húmeda, "boundary layer".

Para que el vapor de agua salga al aire ambiental, tiene que pasar primero a través de esta capa que en general es más húmeda que el aire ambiental. El grosor de esta capa es el factor que determina la resistencia a la transpiración. Cuando la capa húmeda es gruesa, la planta transpira menos y viceversa.

El viento, los circuladores de aire y los ventiladores, desplazan el aire de la capa húmeda y la mezclan con el aire del invernadero, de esta forma, la capa se adelgaza y la planta transpira más. Igual pasa cuando se cuelgue ropa mojada

afuera. Todos sabemos que cuando corre más viento la ropa se seca más rápido.

La planta tiene distintas características morfológicas que le ayudan a transpirar menos en condiciones de altas temperaturas y humedades bajas. La mayor parte de los estomas están ubicados en la parte inferior de la hoja donde hay más sombra, menos calor y más humedad. En ocasiones, los estomas se encuentran ubicados en una cavidad donde el aire entra menos y se forma un microclima húmedo (figura 2).

Algunas plantas, como el tomate, tienen pelos pequeños que rompen el flujo del aire y mantiene la capa húmeda. La forma de la hoja y su grosor también influyen en la pérdida del agua: hojas grandes como las del pepino pierden mucho más agua en comparación a las hojas del espárrago, por ejemplo. Estas características son fijas, la planta no las puede cambiar rápido, por lo que el mecanismo que la planta usa más para balancear su estado hídrico durante el día es el mecanismo del cierre y la apertura de los estomas.

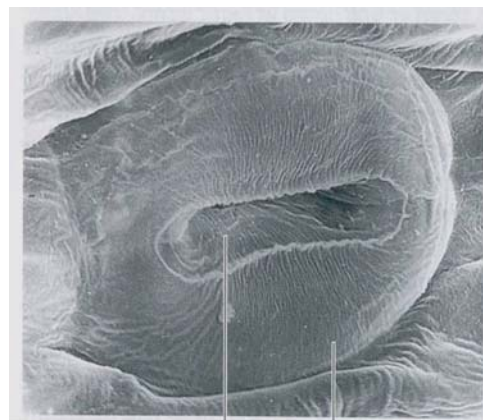


Figura 2. estoma bajo microscopio

Para el cultivo de tomate, una temperatura óptima sería 24-27°C durante el día y 14-17°C durante la noche. Cuando la temperatura diaria es mayor a 30°C o la nocturna mayor a 20°C, se puede encontrar los siguientes efectos negativos: menor cantidad y fertilidad del polen, menor cantidad de floraciones por planta, menos flores por floración, el pistilo se alarga y sale de la flor (en chiles también), floraciones asimétricas, mayor tiempo hasta la primera floración, entrenudos largos, tallos delgados y mala formación del pigmento rojo, el licopeno.

Las temperaturas óptimas logran mantener la producción de azúcar en la fotosíntesis por arriba de su consumo en la respiración. El azúcar restante se utiliza como fuente de energía para crecimiento y producción.

Se puede notar en la figura 3, que por arriba de los 27 C la planta gasta más azúcar de lo que produce y a los 35 C cierra sus estomas lo que se refleja en una bajada drástica en ambos procesos.

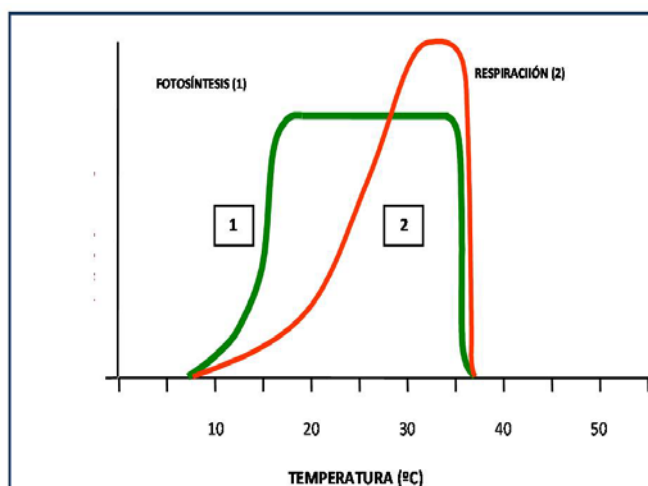


Figura 3. El efecto de la temperatura sobre fotosíntesis y respiración

La respiración es un proceso que consume azúcar y oxígeno para producir agua, dióxido de carbono y lo más importante, ATP, que es una molécula que contiene mucha energía, energía que la planta necesita para su actividad (absorción activa de nutrientes, etc.)

Del carbono diario que la planta convierte en azúcar, entre 30 y 60% se pierde por la respiración, y la pérdida puede llegar hasta 70 a 80% en lugares tropicales donde las temperaturas diarias y especialmente las nocturnas son altas.

Para poder mejorar las condiciones climáticas en el invernadero existen varias herramientas:

- Ventilación natural: cortinas laterales y cenitales, invernaderos altos, etc.
- Ventilación forzada: extractores y circuladores de aire.
- Sombreo: blanqueo del techo, malla sombra y pantallas.
- Evaporación de agua, enfriamiento adiabático: pared húmeda y nebulización.
- Ventilación natural y forzada.

Los extractores de aire cambian el aire interior por el exterior. Por lo tanto tiene la capacidad de igualar la temperatura y la humedad interna con la externa. Cuando hace calor o la humedad está alta en el invernadero, la ventilación ayuda mucho, pero si hace calor afuera ya no va a ayudar tanto y hasta puede empeorar la situación.

El flujo del aire mueve la capa húmeda que rodea la hoja y hace que la planta transpire más. Si el flujo de aire es

fuerte y constante la planta puede deshidratarse y estresarse.

Para poder aumentar la eficiencia de la ventilación forzada es muy recomendable combinarla con sistemas de enfriamiento adiabático como la pared húmeda o la nebulización. Estos sistemas consisten en la evaporación de agua en el aire, por eso funcionan mejor en condiciones de calor seco. Haciendo esto aumentan la humedad, reducen la temperatura y como resultado, optimizan el DPV y la transpiración.

La pared húmeda es el sistema más eficiente para bajar temperatura. Tiene dos limitantes principales: obliga tener surcos cortos hasta 52 m, con la posibilidad de cerrar todas las aperturas, e implica un gasto mayor de energía eléctrica que en un invernadero pasivo.

Los sistemas de nebulizadores se basan en alta presión (4 bar) y caudal de 22 a 30 l/h, operados por pulsos cortos de 3 a 5 segundos, según sensores de temperatura y humedad. Generalmente se opera el sistema cuando la temperatura es mayor de 27 C y se para el sistema cuando la humedad relativa es mayor del 80%.

Entre estos dos, el sistema de nebulización exige mejor calidad de agua, es decir un nivel bajo de bicarbonatos (menor de 1 meq/l) y un nivel bajo de sales. En dado caso que el agua tiene altos niveles de bicarbonatos, con la acidificación se logra bajarlos al nivel óptimo. La calidad adecuada de agua previene el taponamiento de las boquillas de los nebulizadores y la quemadura del follaje por sales que puedan acumularse

sobre él. Otro efecto positivo de los sistemas de enfriamiento adiabático es el aumento de la humedad relativa a su nivel óptimo, alrededor del 60 %, previniendo problemas de humedad baja como mal cuaje y "blossom end rot". Estos sistemas permiten mejorar el ambiente sin perder luz. Esta es una gran ventaja.

El sombreado también logra bajar la temperatura y aumentar la humedad relativa, pero con baja eficiencia y con un sacrificio importante, luz y fotosíntesis. Para no perder tanta luz es recomendable usar una pantalla o malla retráctiles y así podemos aprovechar la luz de la mañana y de la tarde y sombrear solamente al mediodía cuando la radiación y la temperatura están altas. El sombreado dinámico permite sombrear más en días soleados y calurosos y sombrear menos en días nublados. La sombra fija que se genera al pintar el plástico en blanco no es flexible y no permite responder a los cambios climáticos para aprovechar la luz a lo máximo y producir a lo máximo.

La pintura es económica, pero tiene efectos negativos como la pérdida fija de luz sin importar las condiciones climáticas, la disminución del efecto anti-polvo que tiene el plástico y la desuniformidad en su aplicación y en el porcentaje de sombra que genera. Por lo tanto, aun siendo económica, no es recomendable.

La decisión sobre cuál sistema poner, depende de las condiciones climáticas, las fechas de producción y el presupuesto económico. Conociendo las ventajas y desventajas de los distintos sistemas creo que uno pueda tomar mejor decisión.

# EXPLORACIÓN, CONOCIMIENTO Y BENEFICIO

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

**E**l conocimiento se genera en el análisis y la digestión de información, en la búsqueda de aplicaciones que fomenten el desarrollo. Pero la información puede provenir de distintas fuentes, con sus propias cualidades y alcances, tal que el significado del “individuo” y las relaciones personales de unos con otros, será un asunto siempre a considerar para la adecuada valoración de los potenciales y la validación de los procesos.

Con esa perspectiva y para el caso particular de la agricultura protegida, fue que se logró un proceso de exploración sobre el estado tecnológico de este sistema productivo en el ámbito brasileño. El evento se dio gracias al apoyo de la Embajada de Brasil en Costa Rica y la Agencia Brasileña de Cooperación (Ministerio de las Relaciones Exteriores).



Con la visita del pasado mes de junio, enfocada principalmente hacia la observación de los sistemas productivos hortícolas de São Paulo, fuente de la mayor parte de alimentos hortícolas para ese país, se lograron importantes resultados que podrían, en el corto plazo, favorecer a los participantes de las cadenas productivas de ambas naciones.

Brasil y Costa Rica poseen similitudes en cuanto su amplia variabilidad climática y sus efectos sobre la agricultura. Por supuesto, también existen diferencias (comenzando por la dimensión territorial) en la aplicación de algunos conceptos como el de mercado o el autoabastecimiento. Similitudes o diferencias, cada una de ellas fomenta una estructura distinta de pensamiento y por ende, una diferente forma de atender las necesidades.

Justamente, ese hecho se ha visto como elemento enriquecedor para cada parte, no solo en relación con el actuar del Estado (como concepto país) hacia los agricultores, sino en su papel de ente articulador, dentro el cual juegan primordial papel la promoción de relaciones sectoriales y multisectoriales.

Bajo este enfoque, la visita exploratoria consideró varios aspectos, que

se pretende ilustrar a fin de brindar a los lectores un panorama de las intenciones del trabajo.

## Cooperación

En el año 2008 y mediante una rápida visita por la zona hortícola de Brasilia -ver boletín 3(14)- se estableció contacto con algunos líderes de empresas estatales relacionadas con agricultura. De ello surgieron varias ideas y posibles actividades conjuntas que, con el panorama obtenido en esta nueva oportunidad, serán consolidadas y sometidas a estudio.

Así, en Brasilia se tuvo la oportunidad de analizar temas, opciones de trabajo y alcances con el Director General de la Empresa Brasileña de Pesquisas Agropecuarias, EMBRAPA, Doctor Geraldo Eugenio de França, y el Presidente de la Empresa de Asistencia Técnica de Extensión Rural del Distrito Federal (EMATER-DR), Doctor Dilson Resende de Almeida. Los asuntos propuestos fueron de interés en ambas empresas y considerando las posibilidades de cada una de ellas, se generó una muy positiva respuesta ante la eventualidad de trabajo conjunto.

Además de ello, en São Paulo las conversaciones se extendieron a dos importantes centros de trabajo. Por un lado la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, en donde la encargada de agricultura protegida, la Doctora Simone de Mello, expresó de manera integrada los muy diversos factores envueltos en el tema. Por otro lado, la Coordinadora de Asistencia Técnica Integrada (CATI) liderada por el Ingeniero Valdinei J. Dos

Santos, que junto con sus técnicos facilitaron conocimiento integral sobre las aplicaciones con los productores y de manera muy puntual poder tratar el asunto del mercado. En ambos casos, la perspectiva de un intercambio de experiencias, fue bien recibida.

## Tecnología

Los preceptos tecnológicos empleados en la agricultura protegida brasileña, no son extraños. Al igual que en Costa Rica, en Brasil se utilizan todas las herramientas tecnológicas; la diferencia estriba en que por las dimensiones de ese país y las necesidades alimentarias de 190 millones de personas, las aplicaciones adquieren un matiz diferente.



Lo anterior se observó en varios ámbitos. Por un lado en la feria HORTITEC y en las estaciones experimentales de EMBRAPA, en donde existe una clara orientación de los esfuerzos en brindarle al productor opciones para acceder al mercado; esto es especialmente evidente en la generación de semillas de cultivares con características diversas y superiores y, lo principal, adaptados a las condiciones locales (clima y estacionalidad). Uno de esos casos es el ayote brasileño, que ha sido



objeto de selección, mejora y distribución comercial mediante un proceso integrado entre EMBRAPA y la empresa privada. Algo similar ocurre con la fabricación de implementos estructurales para los módulos productivos por parte de la empresa privada; mallas, humidificadores, tubos, sistemas para cultivo hidropónico y más, pensados en la capacidad de inversión y el procesos de transición de los productores.

Por otro lado, en campo esas aplicaciones rinden frutos. Las zonas bajas visitadas cuentan con algunas ventajas comparativas, como baja humedad relativa y precipitación y los esfuerzos en fitoprotección no eran tan fuertes como se requieren en nuestro medio (ello les crea otro tipo de problemas). De esta forma, se emplean estructuras simples, generalmente multitúneles, con mallas de poro grande, soportes internos y siembra en el suelo o con ciertas estrategias o prácticas para la evasión de algunos conflictos como nematodos.

Por otro lado, en zonas altas los invernaderos emergen como herramientas para enfrentar alta humedad y la necesidad de producción e plántulas para el campo abierto. Los variados sistemas, simples o complejos, se adecuan a los cultivos y presentan algunos problemas similares como el incremento en la

temperatura, producto del diseño mismo que no permite la salida de calor. Hortalizas y ornamentales comparten esa diversidad tecnológica en continua adaptación y ensayo.



#### Para proponer

Los elementos descritos, las reuniones para el intercambio de experiencias, permitieron darle claridad a la idea de desarrollar un proceso de intercambio de especialistas, en el cual el conocimiento compartido permita nuevos alcances individuales o colectivos.

El siguiente paso consiste en la elaboración de un proyecto en el cual los mejores exponentes en temas selectos, logren establecer procesos de desarrollo alineados con base en aplicaciones y la validación.

Código **APB-26**

---

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 Superior de Operaciones. 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) 2232-1949, (506) 2257-9355 -extensión 356.  
*Edición: F. Marín*

---